

**BASE METODOLÓGICA PARA UNA APROXIMACIÓN HIDROMORFOLÓGICA A LOS EJES DE UN SISTEMA HIDROGRÁFICO E INFRAESTRUCTURAS QUE LOS CONFIGURAN EN EL CONTEXTO URBANO, BAJO EL CRITERIO DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA. El Caso Medellín- Colombia.**



TESIS DE MASTER

**Arq. JOSE DANIEL CARDENAS SALAS**  
*arquiniel@gmail.com*

DIRECTOR

**Dr. JORDI MORATÓ**  
Director Càtedra UNESCO de Sostenibilitat UPC

MASTER EN ENERGIAS RENOVABLES, ARQUITECTURA Y URBANISMO: LA CIUDAD SOSTENIBLE /2010-2011



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCIA

Huelva, España, Septiembre de 2011

## **RESUMEN**

Frenar la pérdida de biodiversidad que suponen los modelos urbanos tradicionales en relación con los sistemas naturales base, y potenciar su regeneración, se convierte en uno de los principales retos a asumir en la actualidad, para garantizar la sostenibilidad y permanencia de las áreas urbanas en el tiempo y su adaptación al cambio climático.

En la búsqueda de la biodiversidad urbana, la conectividad ecológica se presenta como uno de los aspectos principales que garantizan la estabilidad de los sistemas naturales base. Dentro de estos, los sistemas hidrográficos al ser los que permiten de forma más eficiente el intercambio ecológico en el territorio, y la estabilización de las condiciones ambientales del mismo, ameritan su recuperación y rehabilitación ecológica para permitir una regeneración de la biodiversidad, convirtiéndose sus componentes o ejes principales en potenciales corredores ecológicos al interior de las ciudades.

Partiendo de lo anterior, esta investigación se plantea dentro del marco de la conectividad ecológica en el contexto urbano en relación con los sistemas hidrográficos (red hídrica) y sus componentes principales e infraestructuras que los configuran, tomando como caso de estudio la ciudad de Medellín-Colombia; una ciudad con un modelo urbano altamente determinado por su sistema hidrográfico base y por la perturbación del mismo.

Se llega a una base metodológica que a partir de un sistema de indicadores básico permitiría una aproximación hidromorfológica a los componentes del sistema bajo el criterio de la conectividad ecológica en el contexto urbano, identificando cuantitativamente sus características, sus condiciones ecológicas, y el estado y potencial de conectividad ecológica que estos ejes presentan, como base para el planteamiento y seguimiento futuro de estrategias de intervención más sostenibles para la rehabilitación ecológica del sistema hidrográfico existente en el contexto urbano. Este sistema de indicadores podría convertirse en un complemento para los Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de las Microcuencas (PIOMS) que se han formulando en la actualidad, e implementarse tanto en Medellín como en otros modelos de ciudad con condiciones similares.

## **ABSTRACT**

Stopping the loss of biodiversity that traditional urban models suppose in relation with natural systems and enhance its regeneration, becomes in one of the main challenges to face in the present, ensuring the sustainability and permanence of the urban areas over time and their adaptation to the climate change.

The ecological connectivity it's presented as one of the main subjects that guarantee the stability of the natural systems in the quest of urban biodiversity. Within this, the hydrographic systems (which enable the most efficient ecological exchange in the territory, and the stabilization of its environmental conditions), deserve their ecological recuperation and rehabilitation for enabling the biodiversity regeneration and becoming their main components or axes in potentials ecological corridors within cities.

Based on the above, this research is inscribed in the field of the ecological connectivity in the urban context linked to the hydrographical systems (water mains) and their main components and infrastructures. It is taken as case of study the city of Medellin-Colombia; a city with a urban model highly determined for its hydrographical system and its own disturbance.

It is presented a methodological basis from a basic indicator system that would allow an hydro morphological approach to the system components (water axes) under the ecological connectivity criteria in the urban context, identifying quantitatively its characteristics (ecological conditions, status and potential ecological connectivity), as a basis for future planning and monitoring interventions (founded on more sustainable environmental rehabilitation strategies) for the current hydrographic system in the urban context. This indicator system could be a complement for the Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de las Microcuencas (PIOMS) (watersheds management plans) that have been currently formulated and implemented in Medellin and other city models with similar conditions.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
OBJETIVOS .....	3
HIPOTESIS .....	3
JUSTIFICACIÓN .....	3
METODOLOGÍA .....	4
<b>1. APROXIMACIÓN CONCEPTUAL Y MARCO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1. CONCEPTOS BASICOS</b> .....	<b>6</b>
1.1.1. Biodiversidad . .....	6
1.1.2. Fragmentación y aislamiento .....	6
1.1.3. La conectividad ecológica .....	8
1.1.4. Estructura ecológica y continuidad .....	9
<b>1.2. BIODIVERSIDAD URBANA EN EL CONTEXTO GLOBAL</b> .....	<b>10</b>
<b>1.3. INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD URBANA</b> .....	<b>10</b>
1.3.1. Antecedentes .....	11
1.3.2. Indicadores, Sistemas de indicadores, índices.....	11
<b>2. CONCEPTUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS ÁREAS VERDES URBANAS Y LOS SISTEMAS HIDROGRÁFICOS, Y SU ACOTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN BAJO EL CRITERIO DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA EN EL CONTEXTO URBANO</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1. UNA VISIÓN MACRO SISTÉMICA (GENERAL)</b> .....	<b>13</b>
2.1.1. Enfoque conceptual a nivel urbano .....	13
2.1.2. Indicadores de sostenibilidad dentro del ámbito de espacios verdes y biodiversidad a nivel urbano.....	14
2.1.2.1. El índice biótico del suelo (ibs) .....	16
2.1.2.2. El índice de funcionalidad de parques urbanos (IFparques) .....	17
2.1.2.3. Conectividad de los corredores verdes urbanos (Ccorredores) .....	18
2.1.3. Contextualización .....	19

<b>2.2. UNA VISIÓN MICROSISTEMICA (PARTICULAR)</b> .....	20
2.2.1. La aproximación hidromorfológica .....	20
2.2.1.1. El régimen hidrológico .....	23
2.2.1.1.1. Alteración del régimen hidrológico .....	25
2.2.1.1.2. Síntesis .....	27
2.2.1.2. La continuidad fluvial .....	28
2.2.2.2.1. Tipos de barrera .....	28
2.2.2.2.2. Síntesis .....	30
2.2.1.3. Las condiciones morfológicas .....	31
2.2.1.3.1. Parámetros de caracterización morfológica .....	31
2.2.1.3.1.1. Geometría del canal fluvial .....	32
2.2.1.3.1.2. Variaciones en anchura y profundidad del canal fluvial .....	33
2.2.1.3.1.3. Tipo de valle fluvial .....	34
2.2.1.3.2. Parámetros de valoración de la calidad de las condiciones morfológicas .....	35
2.2.1.3.2.1. Estructura y substrato del cauce y márgenes fluviales .....	35
2.2.1.3.2.2. Estructura de la zona de ribera .....	36
2.2.1.3.2.2.1. Índice de Calidad del Bosque de Ribera – QBR .....	39
2.2.1.3.3. Valoración de las condiciones morfológicas .....	40
2.2.1.3.4. Síntesis .....	42
2.2.1.4. Valoración de la calidad Hidromorfológica .....	42
2.2.2. contextualización y delimitación .....	43
<b>2.3. ACOTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN</b> .....	45
2.3.1. Visión integrada .....	45
2.3.2. Síntesis Referencial .....	47

<b>3. CONTEXTUALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO Y SUS PRINCIPALES CONDICIONANTES NATURALES Y FISICO-ESPACIALES EN RELACIÓN AL SISTEMA HIDROGRÁFICO EN EL CONTEXTO URBANO.....</b>	<b>49</b>
<b>3.1. LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ .....</b>	<b>49</b>
3.1.1. Localización y configuración de la cuenca del rio Aburrá .....	49
3.1.2. Medellín y el área metropolitana .....	55
3.1.2.1. Reseña histórica.....	56
3.1.3. Crecimiento urbano y sus principales problemáticas .....	59
3.1.3.1. Modificación del rio y la quebrada santa Elena.....	60
3.1.3.2. Crecimiento urbano y población de la cuenca del río Aburrá .....	63
3.1.3.3. Fragmentación del sistema natural base .....	69
<b>3.2. DINAMICAS DE PLANEAMIENTO E INTERVENCIÓN HACIA EJES DE QUEBRADA EN MEDELLÍN EN RELACIÓN CON LA CONECTIVIDAD .....</b>	<b>71</b>
3.2.1. Antecedente .....	71
3.2.2. Red ecológica urbana y parques lineales de quebrada .....	71
<b>3.3. PRINCIPALES CONDICIONANTES DE LOS EJES DE QUEBRADA Y SUS INFRAESTRUCTURAS EN EL CONTEXTO URBANO DE MEDELLÍN.....</b>	<b>76</b>
<b>3.3.1. Componente-natural .....</b>	<b>76</b>
3.3.1.1. Geología y relieve .....	76
3.3.1.2. Dinámica Hídrica .....	78
3.3.1.3. Vegetación .....	80
<b>3.3.2. Componente Físico –Espacial .....</b>	<b>81</b>
3.3.2.1. Morfología Urbana .....	81
3.3.2.2. Ocupación del suelo en relación con las márgenes .....	82
3.3.2.3. Infraestructuras en relación con los ejes de quebrada .....	83
3.3.2.3.1. Cubrimiento de causas .....	83
3.3.2.3.2. Infraestructuras de Movilidad .....	86
3.3.2.3.3. Estructuras y superficies de rivera .....	88
3.3.3. Síntesis de situaciones típicas del estado actual de las quebradas en Medellín .....	89

**4. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO BASE, PARA LA VALORACION DEL POTENCIAL DE CONECTIVIDAD ECOLOGICA DE LOS EJES PRINCIPALES DE UN SISTEMA HIDROGRÁFICO EN EL CONTEXTO URBANO, REFERENCIA AL CASO MEDELLIN.....90**

4.1. Niveles de conectividad ecológica ..... 90

4.2. Sistema de indicadores básico para la aproximación hidromorfológica a los ejes de quebrada y su potencial de conectividad ecológica en el contexto de Medellín. .... 91

4.2.1. Delimitación y zonificación de las áreas a valorar ..... 93

4.2.1.1. Zonificación y delimitación longitudinal ..... 93

4.2.1.1.1. Longitud de tramos y escala de aproximación ..... 96

4.2.1.2. Delimitación Transversal (retiros) ..... 99

4.3. Aproximación a los Parámetros e indicadores básicos ..... 103

4.3.1. Grado de encauzamiento a lo largo del eje ó tramo ..... 104

4.3.2. Grado de cubrimiento de cauce a lo largo del eje ó tramo ..... 106

4.3.3. Grado de permeabilidad ecológica del suelo a lo largo del eje ó tramo ..... 109

4.3.4. Área libre sin artificialización a lo largo del eje ó tramo..... 111

4.3.5. Cobertura de vegetación riparia de bajo porte y sotobosque a lo largo del eje ó tramo..... 113

4.3.6. Grado de continuidad de márgenes fluviales libres a ambos lados del cauce ..... 115

4.3.7. Grado de ocupación de suelo en márgenes a lo largo del eje ó tramo ..... 117

4.3.8. Presencia de barreras a lo largo del eje ó tramo ..... 119

4.3.9. Grado de dispersión lineal de barreras a lo largo del eje o tramo..... 122

4.3.10. Estructura Vegetal de medio y alto porte a lo largo del eje ó tramo ..... 126

4.3.11. Continuidad longitudinal del arbolado a lo largo del eje ó tramo ..... 128

4.4. Valoración de los niveles de conectividad ecológica en el contexto urbano ..... 130

**5. CONCLUSIONES ..... 131**

**BIBLIOGRAFIA ..... 134**

**ANEXOS**

## INTRODUCCIÓN

*“El cambio climático, la **pérdida de biodiversidad** y el crecimiento de un incremento de la población urbana mundial son los principales retos de este siglo. Con casi 2/3 de la población que se predice vivirá en áreas urbanas a 2050, argumentamos que la **biodiversidad urbana**, que significa la biodiversidad dentro de los pueblos y ciudades, jugarán un rol importante en la detención de la pérdida de biodiversidad”<sup>1</sup>.*

En la actualidad uno de los mayores problemas que presentan los procesos de urbanización son la **fragmentación de los sistemas naturales** y su repercusión en la disminución de la biodiversidad en el paisaje urbano recreado. Un tema de gran importancia cuando se entiende la relación intrínseca que hay entre la biodiversidad, la estabilidad de los sistemas naturales y las **condiciones ambientales** generales de un lugar.

Gran parte de los asentamientos humanos se han dado en relación con las cuencas de los ríos, siendo el aprovechamiento hídrico y del suelo una constante en la historia de la humanidad. Estos cursos de agua han tenido o tuvieron en su momento una relación directa como conectores ecológicos naturales, posibilitando unas condiciones ambientales estables de los territorios que configuraban. Sin embargo la relación que se ha dado entre los asentamientos humanos y estos sistemas naturales a partir de la revolución industrial, y en la recreación de la ciudad postindustrial ha estado claramente desligada de los procesos naturales por múltiples factores generales y condiciones socio-culturales específicas, que han dado como resultado sistemas altamente alterados y fragmentados, disminución en la calidad del recurso hídrico y pérdida de la biodiversidad. Lo que queda claro es que al alterar estos sistemas, no solo van perdiendo su biodiversidad sino que en muchas ciudades se han convertido en focos de degradación y peligro a causa de problemáticas socio-culturales y de intervenciones antrópicas desligadas de una conciencia y visión ecológica, y donde variables como la alta escorrentía son cada vez más problemáticas por la presencia de sistemas altamente erosionados e impermeabilizados en el espacio urbano, generando una pérdida de la capacidad regulatoria de estos.

Por lo general en los planeamientos territoriales actuales en relación con las áreas urbanas, el interior de éstas queda desvinculado de los planes de ordenación ecológica, quedando las áreas urbanas en sí mismas relegadas a simples modelos de áreas libres tradicionales que poco tienen que ver con una visión ecológica, haciendo que las áreas pertenecientes a los sistemas naturales base pierdan su valor e identidad ecológica al interior de las ciudades. Mientras se hace un gran esfuerzo por plantear estrategias para preservar o recuperar los bordes o áreas cercanas de gran valor ecológico; que aunque sin duda son fundamentales para la sostenibilidad del macro territorio, y que a su vez han sufrido graves procesos de fragmentación por las intervenciones antrópicas dadas por cambios de uso del suelo generados por la urbanización, la vinculación ecológica con las tramas urbanas y su estructura natural base se plantea de forma difusa.

Medellín metropolitana, una ciudad asentada sobre un territorio configurado por la cuenca del río Aburrá, que lamentablemente se ha visto afectada por un crecimiento urbano desmesurado a partir de dinámicas socioculturales bastante complejas, se presenta como un modelo de ciudad que ejerce presión sobre cuencas exteriores; reduciendo la capacidad de estas, mientras que el recurso presente en la propia cuenca ha sido contaminado y subvalorado, de la mano de un alto grado de alteración y fragmentación del sistema hidrográfico propio, imposibilitando el cierre del ciclo natural y poniendo en riesgo el patrimonio natural del territorio y la seguridad de los asentamientos humanos que allí se dan.

---

<sup>1</sup> MULLER Norbert, WERNER Peter. **Urban Biodiversity and design**. 2010. p.3

En los últimos años Medellín ha iniciado una serie de procesos de desarrollo y renovación urbana, que sin duda han mejorado parte de las condiciones ambientales y de habitabilidad de algunas comunidades, y dentro de estas dinámicas proyectos como los parques lineales de quebrada han comenzado a ser de gran importancia para el desarrollo de la ciudad, convirtiéndose en alternativas interesantes dentro del marco de la biodiversidad urbana, y ante esto cabría la siguiente cuestión: ¿Cuales son los alcances de los proyectos de renovación urbana actuales hacia los ejes de quebrada en relación con la conectividad ecológica y el paisaje del agua de la ciudad?

Aunque no es la idea de este trabajo responder directamente la anterior cuestión, es fundamental entender que la recuperación de los márgenes de quebradas y ejes ambientales debería darse no solo a nivel de usos como espacios de ocio (deporte, recreación, contemplación y cultura), sino también que deberían tener presente como base una visión ecológica, vinculando los diferentes tipos de retiros e infraestructuras que se plantean hacia estos ejes de forma que se configuren y relacionen entre sí como ejes de transición para potencializar la conectividad ecológica del sistema, y el control y tratamiento del recurso hídrico, dentro de lo posible. Un planteamiento bastante complicado en un contexto urbano y socio-cultural como el que presenta la ciudad de Medellín.

Sin embargo, aproximarse a lo existente, y definir posibles estrategias de actuación más sostenibles sobre los ejes que presenta la cuenca del río Aburrá bajo el criterio de la conectividad ecológica, es necesario en un escenario donde el sistema natural de la cuenca urbana de la ciudad ha sido fragmentado y transformado por diferentes procesos antrópicos en el transcurso de la corta historia de la ciudad, generando en la actualidad diversas problemáticas ambientales. Ante esto:

¿Cómo se debería intervenir en estos espacios, y que estrategias de intervención se deberían plantear para la restauración de la conectividad y rehabilitación ecológica en los ejes de quebrada que componen el sistema hidrográfico de la ciudad de Medellín?

Está claro que para poder responder a esta cuestión, y lograr plantear unas estrategias de intervención y gestión más sostenibles sobre el sistema hidrográfico de la ciudad, primero hay que reconocer sus características generales y su relación con las infraestructuras presentes en el contexto urbano, encontrando los patrones comunes y las diferencias dadas dentro de los componentes del sistema, que permitan determinar unas características hidromorfológicas básicas de los diferentes tipos de ejes en relación con un potencial de conectividad ecológica para una planificación más sostenible. Y ante esto la pregunta principal que este trabajo se plantea es:

**¿Cómo aproximarse al estudio y evaluación hidromorfológica de los componentes de un sistema hidrográfico y las infraestructuras que los configuran en el contexto urbano, bajo el criterio de la conectividad ecológica?**

Una aproximación hidromorfológica al sistema hidrográfico y sus componentes en el contexto urbano, permitiría un reconocimiento de las condiciones, necesidades y posibilidades que estos presentan para la restauración de la conectividad ecológica al interior de la ciudad.

Para esto, una aproximación a partir de indicadores de sostenibilidad bajo una visión integral, y no restringida como usualmente se da hacia los ejes hidrográficos ante los conflictos generados por la urbanización, permitiría; en tanto pudiera ir aplicándose, la implementación de estrategias de conectividad ecológica para la gestión más sostenible del paisaje del agua en el contexto urbano, potenciando a su vez unas mejores condiciones ecológicas y la regeneración de la biodiversidad al interior de la ciudad, aun más frente al escenario que presenta el cambio climático.

**PALABRAS CLAVE: CIUDAD, CONECTIVIDAD ECOLÓGICA, HIDROMORFOLOGÍA, INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.**

## **OBJETIVO GENERAL**

Plantear una base metodológica para una Aproximación hidromorfológica a los componentes principales de un sistema hidrográfico en el contexto urbano bajo el criterio de la conectividad ecológica, tomando como modelo la ciudad de Medellín.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

**Objetivo 1.** Determinar y Comprender los aspectos y conceptos relacionados con la conectividad ecológica dentro del marco de la biodiversidad urbana, y Aproximarse a los sistemas de indicadores de sostenibilidad urbana.

**Objetivo 2.** Relacionar y contextualizar el concepto de conectividad ecológica dentro de las dinámicas del planeamiento urbano en relación con los sistemas hidrográficos.

**Objetivo 3.** Analizar metodologías de aproximación y evaluación hidromorfológica, y sistemas de indicadores de sostenibilidad en relación con áreas libres no urbanizadas y biodiversidad a nivel urbano, bajo el criterio de la conectividad ecológica.

**Objetivo 4.** Aproximarse las principales condicionantes hidromorfológicas, naturales y físicos espaciales comunes, dadas en un sistema hidrográfico y sus componentes principales (ejes de quebrada) en relación con las infraestructuras que los configuran en el contexto urbano. Primer análisis de caso para la ciudad de Medellín.

**Objetivo 5.** Plantear un sistema de indicadores básico para una aproximación hidromorfológica a los ejes principales de un sistema hidrográfico y las infraestructuras que los configuran en el contexto urbano, que permita valorar el potencial de conectividad ecológica de estos ejes dentro de la ciudad.

## **HIPÓTESIS**

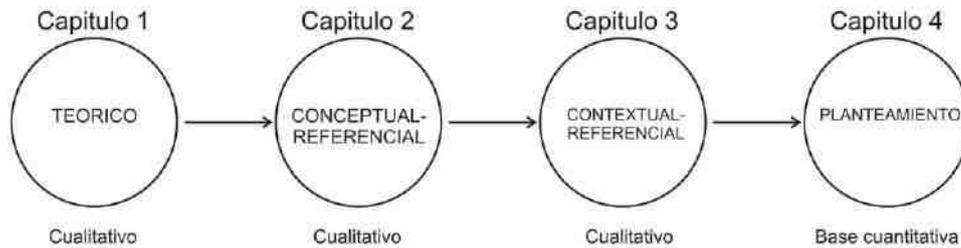
Al parametrizar los componentes naturales y físico-espaciales dados sobre un sistema hidrográfico en el contexto urbano, se podría llegar a una base metodológica que permitiese una aproximación hidromorfológica general sobre los ejes principales que lo conforman, mediante la cuantificación y valoración de las situaciones que allí se dan, permitiendo tener más claridad para la implementación de estrategias de intervención más sostenibles en pro de la rehabilitación ecológica de estos ejes en relación con la gestión más sostenible del recurso hídrico, la regeneración de la biodiversidad al interior de la ciudad, la restauración de la conectividad ecológica en el contexto urbano, y su vinculación como espacios de uso social restringido.

## **JUSTIFICACIÓN**

Inscribiéndose dentro de las líneas de medio ambiente, enmarcadas dentro del plan estratégico de la región metropolitana de Medellín al 2030, el tema de la conectividad ecológica en relación con el sistema hidrográfico preexistente, se presenta como una necesidad urgente de atender dentro de un panorama bastante crítico entre el modelo de desarrollo urbano convencional dado en la actualidad y los objetivos sobre la biodiversidad urbana planteados a nivel global, potencializado a su vez por los conflictos que comienzan a darse debido al cambio climático.

## METODOLOGÍA

Este trabajo se divide en cuatro capítulos principales, organizándose de la siguiente manera:



### **Capítulo 1. APROXIMACIÓN CONCEPTUAL Y MARCO DE INVESTIGACIÓN:**

En este capítulo se hace una aproximación a conceptos básicos relacionados con el tema de la conectividad ecológica, introduciendo a su vez la investigación dentro del marco de la biodiversidad urbana y aproximándose a los sistemas de indicadores de sostenibilidad urbana.

### **Capítulo 2. CONCEPTUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS ÁREAS VERDES URBANAS Y LOS SISTEMAS HIDROGRÁFICOS, Y SU ACOTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN BAJO EL CRITERIO DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA EN EL CONTEXTO URBANO:**

Partiendo de dos visiones, una macro sistémica; en relación con una visión amplia del sistema natural base, y otra micro sistémica en relación con una visión específica de los componentes del sistema, se analizan y referencian algunos sistemas de indicadores de sostenibilidad en relación con las áreas verdes urbanas y biodiversidad a nivel urbano, y metodologías de evaluación hidromorfológica; en específico, el **Sistema de Indicadores y Condicionantes para Ciudades Grandes y Medianas** en su ámbito de **Espacios verdes y Biodiversidad** elaborado por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Español en el 2011, y el **Protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos de Catalunya** elaborado por la ACA en el 2006, entre otras referencias en relación con la valoración de la naturalidad del territorio, contextualizando e unificando estos planteamientos a partir del concepto de conectividad ecológica en relación con los componentes de un sistema hidrográfico en el contexto urbano.

### **Capítulo 3. CONTEXTUALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO Y SUS PRINCIPALES CONDICIONANTES NATURALES Y FISICO-ESPACIALES EN RELACIÓN AL SISTEMA HIDROGRÁFICO EN EL CONTEXTO URBANO:**

En este capítulo se describen las características del caso de estudio, en este caso la ciudad de Medellín - Colombia, su evolución a través de los años en relación con la ocupación territorial y el sistema hidrográfico, teniendo en cuenta datos históricos de la publicación **Medellín 1850-1950**, y del **Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Aburrá (POMCA) 2007**. A su vez se hace una aproximación básica a las dinámicas del desarrollo urbano en relación con la conectividad ecológica dentro del contexto de la ciudad y su red ecológica, y se identifican y analizan los principales condicionantes naturales y físico espaciales comunes de los ejes de quebrada principales en relación con las infraestructuras que los configuran en la ciudad de Medellín, a partir de documentos elaborados por la **Empresa de Desarrollo Urbano (EDU) del municipio de Medellín** dentro del proyecto de **Parques lineales de Quebrada** del año 2009, y de algunos **Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de microcuencas (PIOMS)** formulados para algunas quebradas por el municipio de Medellín en los últimos 10 años.

### **Capítulo 4. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO BASE, PARA LA VALORACIÓN DEL POTENCIAL DE CONECTIVIDAD ECOLÓGICA DE LOS EJES PRINCIPALES DE UN SISTEMA HIDROGRÁFICO EN EL CONTEXTO URBANO, REFERENCIA AL CASO MEDELLÍN:**

En este capítulo se propone una base metodológica apoyada en el planteamiento de un sistema de indicadores básicos que permitan una aproximación cuantitativa y cualitativa al estado y potencial de la conectividad ecológica hacia los ejes de quebrada en relación con el componente natural y físico-espacial presente en un contexto urbano. Se parte de los conceptos, metodologías y demás información presentada y/o referenciada en los capítulos anteriores para llegar a esta base.

Base metodológica para una aproximación hidromorfológica al estado de la conectividad ecológica en los ejes de un sistema hidrográfico e infraestructuras que lo configuran en el contexto urbano

## 1. APROXIMACIÓN CONCEPTUAL Y MARCO DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se hace una aproximación a diferentes conceptos relacionados con el tema de la conectividad ecológica, partiendo de planteamientos generales dados por algunos autores y equipos especializados en la gestión ecológica del territorio, y contextualizando la investigación dentro del marco de la Biodiversidad Urbana y los sistemas de indicadores de sostenibilidad.

### 1.1. CONCEPTOS BASICOS

#### 1.1.1. Biodiversidad

*La biodiversidad es la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluyendo los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; incluye la diversidad dentro de cada especie (genética), entre las especies (organismos) y la de los ecosistemas (UN, 1992).*

*La biodiversidad surge debido a mutaciones genéticas y se reduce por las extinciones. Siempre hay una cierta tasa de extinción, llamada de fondo, que hace desaparecer una parte de diversidad biológica. Actualmente esa tasa se encuentra multiplicada por entre 100-1000 (MEA, 2005) y es debido al ser humano, que ha modificado, destruido y subdividido hábitats; sobreexplotado poblaciones; introducido especies exóticas y contaminado el medio. Esto nos está llevando a hablar de la 6ª gran extinción (Wake & Vredenburg, 2008).*

*Los objetivos de conservar y hacer uso sostenible de la biodiversidad y repartir justa y equitativamente los beneficios que se obtuvieran de ella de cara al 2010 no se han cumplido (UNEP, 2010a)*

Dentro de este contexto, el principio o fin de un desarrollo más sostenible será la preservación o regeneración de la biodiversidad. Esta es la base de la existencia del ser humano y demás organismos del planeta. De aquí la importancia en partir de una visión ecológica que permita el planteamiento de estrategias integrales para la regeneración de ésta dentro de un paisaje urbano (ecosistemas urbanos).

#### 1.1.2. La fragmentación y aislamiento

Para entender el concepto de fragmentación y aislamiento; que se le opone al concepto de conectividad ecológica a tratar posteriormente, es necesario entender el concepto de paisaje en relación con el medio natural como un todo integrado, definido por Forman y Gordon (1986) como: *“un área de tierra heterogénea compuesta por un grupo de ecosistemas que se repiten a lo largo y ancho en formas similares”.*

Este se conforma a partir de tres elementos principales: la matriz, los parches (parcelas) y los corredores, estos permiten la relación de condiciones heterogéneas en los ecosistemas y dan estabilidad a los mismos.

La **matriz** es la base integradora, el tejido donde fluye el paisaje y donde los elementos que lo conforman se relacionan.

Los **parches** o parcelas son áreas con condiciones relativamente homogéneas en su interior respecto a su estructura y dinámicas ecológicas, y de un tamaño considerable que permiten sistemas auto sostenibles.

Los **corredores** son elementos generalmente longitudinales que conectan parcelas similares, donde la vegetación actúa como protección o comunicación, uniendo o separando los elementos que conforman la matriz.

*“Existen corredores de origen natural (relacionados con redes de drenaje, vías de migración de los animales, o condiciones particulares del sustrato por diferencias litológicas e hidrológicas) y corredores culturales o de origen antrópico que están determinados por factores como infraestructura, actividades de transporte, límites de propiedad o áreas de manejo”<sup>2</sup>.*

*“La funcionalidad de los corredores depende de factores como la homogeneidad y regularidad del corredor, número de nodos o bifurcaciones y ruptura del corredor, tipo y características de la red que forma parte”<sup>3</sup>.*

De la relación entre los diferentes elementos que conforman un paisaje, los bordes y orillas se presentan como un cuarto elemento dentro de la configuración del paisaje, siendo estos fronteras comunes entre los elementos de diferente composición y estructura que se dan en el paisaje, estos pueden actuar como límites o hábitats en sí mismos y pueden llegar a ser bastante complejos en sus relaciones ecológicas.

La acelerada intervención humana en los sistemas naturales ha hecho que estos queden cada vez más fragmentados, generando un aislamiento y disminución de los hábitats que los conforman, generando así la pérdida de biodiversidad.

La fragmentación se puede definir entonces como la transformación de un bosque continuo en muchas unidades más pequeñas y aisladas entre sí, cuya extensión agregada de superficie resulta ser mucho menor que la del bosque original (Bustamante y Grez, 1995).

La fragmentación cada vez más acelerada produce lo que se conoce como el efecto borde, que se da básicamente como el aumento de la vulnerabilidad de las especies a condiciones ambientales adversas, que son frecuentes en los bordes de los parches pero no en su interior, y que debido a la disminución del tamaño de los fragmentos y su falta de continuidad terminan por afectar las condiciones microclimáticas y la estabilidad de los mismos.

La vinculación de los diferentes elementos es lo que garantiza paisajes saludables, y para su buen funcionamiento y gestión, es importante ver tanto el sistema completo como las partes que componen tanto en sus estructuras como en sus funciones ecológicas.

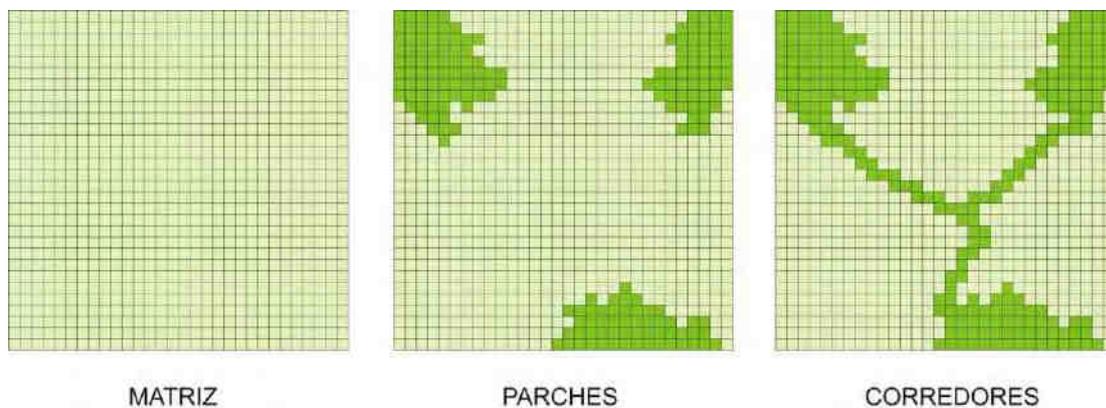


Figura 2. Componentes del paisaje. Elaboración propia.

<sup>2</sup> MORLANS, María cristina. **Estructura del Paisaje (matriz, parches, bordes, corredores) sus funciones fragmentación del hábitat y su efecto borde.** Documento área ecología-Universidad nacional de Catamarca. p.4.

<sup>3</sup> *Ibíd.* p.5.

### 1.1.3. La conectividad ecológica

El concepto de conectividad a nivel territorial fue planteado por Phipil D. Taylor. En 1993, como complemento al marco de estudio establecido por Dunning en 1992, donde básicamente se planteaban 4 procesos ecológicos que se daban a escala del territorio: 1) complementación del territorio, 2) suplementación del territorio, 3) Relación entre paths fuente-sumidero, (4) Efecto vecindad.

Estos procesos dependen de la distribución de los recursos en el paisaje pero requieren, como lo menciona Taylor y sus compañeros, que los animales se muevan entre los recursos de diferentes parches. Inicialmente Dunning planteaba que la habilidad de un organismo para completar o suplementar los recursos requeridos depende únicamente de la distancia entre las fuentes (los parches). Pero Taylor complementa que esta habilidad depende también de otros factores, como son la naturaleza biofísica de la ruta y del propio organismo.

Debido a que el movimiento es determinante en la supervivencia de los animales se reconoció una tercera medida de la estructura del paisaje llamada: conectividad del paisaje, que entra a complementar las dos ya identificadas por Turner (1989): fisionomía del paisaje y composición del paisaje. La fisionomía y composición del paisaje miden la distribución de los parches y sus recursos presentes en un paisaje (Dunning et al. 1992). la conectividad del paisaje es el grado en el que un paisaje facilita o impide el movimiento entre los diferentes parches y sus recursos.

Medir la conectividad es un tema que en la actualidad se sigue investigando, y se han desarrollado diferentes sistemas peramétricos para medirla, como es el caso del planteado por Joan Marull y Josep M. Mallarach, dos de los autores más reconocidos en estos temas, y quienes han desarrollado una metodología de tipo peramétrico basados en sistemas de información geográfica para medir la conectividad ecológica a escala territorial, presentada en su estudio sobre la conectividad ecológica en el área metropolitana de Barcelona (2002) y donde básicamente se definen tres índices: el índice de conectividad ecológica (ICE), el índice de afectación de barreras (IAB), y el índice de fragmentación ecológica (IFE). Sin embargo, planteamientos como estos al hacer una aproximación a escalas muy amplias dejan de lado la valoración de la situación al interior de las tramas urbanas.

Una visión integral de la conectividad ecológica debe darse desde las diferentes escalas: la regional, la local o municipal, y la del lugar o área específica. Dentro de este ámbito algunos investigadores y teóricos como Edward Cook han comenzado a introducir, adaptar y aplicar algunos sistemas de aproximación a la conectividad ecológica dentro del contexto urbano, planteando que:

*"La conectividad es una medida del grado en que todos los nodos están conectados. Al igual que en anteriores debates de la naturalidad y la preferencia por las especies nativas, dos tipos de conectividad pueden existir. La conectividad natural utiliza los corredores existentes o restaurados originados naturalmente, obteniendo un gran potencial de beneficios ecológicos. La Conectividad artificial se logra mediante la creación de corredores culturales y en la mayoría de los casos los beneficios ecológicos serán menores si se comparan con un corredor natural de características similares. En las zonas urbanas, la utilización de la conectividad artificial puede ser una dimensión esencial de la red. Debido a que muchos corredores naturales es probable que hayan sido retirados o destruidos, la conexión suplementaria se puede lograr mediante un diseño adecuado de los corredores artificiales."*<sup>4</sup>.

A pesar de esto último planteado por Cook, buscar estrategias que permitan rehabilitar en lo posible la continuidad de la estructura ecológica natural, es fundamental en el escenario que nos plantea el reto de la biodiversidad urbana y el cambio climático.

---

<sup>4</sup> COOK, Edward, *Landscape structure indices for assessing urban ecological networks*. 2002. p.276.

#### 1.1.4. Estructura ecológica y continuidad

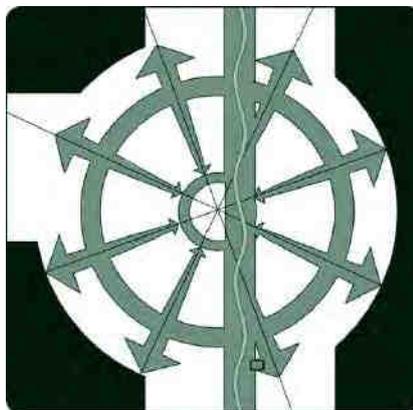
El concepto de Estructura Ecológica desde su aplicabilidad en el proceso de planificación territorial, tiene una relación directa con el concepto de continuum natural, este último introducido y definido en algunas legislaturas ambientales como:

*“el sistema continuo de los fenómenos naturales que son la fuente de la vida silvestre y el mantenimiento del potencial genético, y que contribuye para el equilibrio y estabilidad del territorio”<sup>5</sup>.*

Y Planteándose como objetivo dentro del contexto de la planificación:

*“La conservación de la naturaleza, el equilibrio biológico y la estabilidad de diferentes hábitats, incluyendo la fragmentación y la diversificación de los paisajes, la creación de parques y reservas naturales y otras áreas protegidas, corredores ecológicos y zonas verdes en ciudades y sus alrededores, a fin de establecer una continuidad natural”<sup>6</sup>.*

De acuerdo con esto, el concepto de Estructura Ecológica (EE) como lo presenta el CCDRN, se refiere a la integración de sistemas ecológicos naturales partiendo de componentes como corredores ecológicos, zonas de espacios verdes urbanos y suburbanos del paisaje natural, que al articularse deben funcionar como un sistema continuo de fenómenos naturales. Una estructura que organiza la multitud de áreas a fin de establecer una continuidad natural.



**Figura 3.** Adaptado de Kunik 1983- Sukupp, 1991. Corredores e cinturas verdes urbanos e peri-urbanos. Fuente: Estructura Ecológica e os Instrumentos de Gestão do Território

A partir de esto se puede comprender la importancia que tiene la continuidad ecológica en los sistemas urbanos, en pro de la potencialización y/o regeneración de la biodiversidad urbana.

<sup>5</sup> Lei de Bases de Ambiente (LBA) de 1987. Artigo 5. Citado por CANGUEIRO, José. **A Estrutura Ecológica e os Instrumentos de Gestão do Território.** CCDRN. Portugal. p.21

<sup>6</sup> Ibid. p. 21

## 1.2. BIODIVERSIDAD URBANA EN EL CONTEXTO GLOBAL

*“La novena conferencia de las partes de la convención sobre biodiversidad (COP 9), que fue celebrada en Bonn en mayo de 2008, reconoció por primera vez desde la firma de la convención de 1992, que las ciudades deben contribuir de forma importante en el esfuerzo global para proteger y mejorar la biodiversidad”<sup>7</sup>.*

En este contexto y de acuerdo con lo presentado anteriormente, la vinculación ecológica de las partes y/o sistemas naturales base, que han sido transgredidos; especialmente durante los últimos 200 años con la revolución industrial y otras dinámicas post-industriales dadas en el transcurso del siglo XX, y que aún permanecen; al menos en parte, dentro de las tramas urbanas como espacios residuales, es fundamental para cumplir los objetivos medio ambientales que se plantean para este nuevo siglo.

*“La biodiversidad urbana es la variedad y riqueza de organismos vivos (incluyendo las variaciones genéticas) y la diversidad de hábitats que se encuentran dentro o en el borde de los asentamientos humanos. Estos rangos de biodiversidad desde la franja rural al núcleo urbano, en el paisaje y nivel de hábitat incluyen:*

- Restos de paisajes naturales (e.g. restos de selva virgen o superficies rocosas)*
- Paisajes agrícolas tradicionales (e.g. prados y áreas de tierra cultivable)*
- Paisajes urbanos e industriales (e.g. centros de ciudad, zonas residenciales, parques industriales, parques y jardines, suelos degradados (en desuso) ”<sup>8</sup>.*

*“La biodiversidad urbana está determinada por la planificación, diseño y gestión del entorno construido, las cuales, a su vez, están influenciados por valores económicos, sociales y culturales, y dinámicas de la población humana. Con el rápido crecimiento en el incremento de la población urbana mundial, especialmente desde mediados del siglo XX, la urbanización se ha convertido en uno de los principales conductores de amenaza para la biodiversidad global. Un desarrollo urbano **más** sostenible, incluyendo la gestión y el diseño de la biodiversidad urbana, es por lo tanto de crucial importancia para el futuro de la biodiversidad global”<sup>9</sup>.*

Queda claro que el reto para la biodiversidad urbana está en la gestión más sostenible de las áreas libres y el espacio público, en relación con el entorno urbano y periurbano, partiendo de una relación con el territorio mucho más integral, ligada a conceptos como el de la conectividad ecológica al interior de las ciudades.

## 1.3. INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD URBANA

Una gestión más sostenible del medio urbano parte de la identificación de los fenómenos y variables relacionadas que intervienen dentro de las dinámicas urbanas. Y para esto el planteamiento e implementación de indicadores de sostenibilidad es determinante para el seguimiento de estos fenómenos, y para el planteamiento de estrategias que mejoren las condiciones de vida de los habitantes, respeten los ecosistemas, y adapten los modelos de desarrollo urbano al cambio climático.

---

<sup>7</sup> DJOGHLAF, Ahmed. JESSEL, Beate. SUKOPP, Herbert. **Urban Biodiversity and design**. 2010. Foreword.

<sup>8</sup> MULLER, Norbert. **Urban Biodiversity and design**. 2010. Preface.

<sup>9</sup> *Ibíd.* Preface.

### 1.3.1. Antecedentes

Centrándose en el medio urbano, el origen de los indicadores que en la actualidad se plantean dentro del ámbito de la sostenibilidad, se da a partir del enfoque tradicional de los indicadores sociales, y como lo mencionan Fricker (1998) y Rixford (1998), citados por CASTRO BONAÑO J.Marcos<sup>10</sup>, estos comenzaron a introducirse desde los años treinta del siglo XX por miembros de la escuela de Chicago, como ejemplo de un análisis social urbano interesado en la calidad de vida y el desarrollo urbano.

*“La dimensión urbana se considera ya desde los primeros análisis para la elaboración de estos indicadores sociales, suponiendo un ámbito donde se desarrollan numerosos avances relativos en un principio a la salud pública y condiciones sociales de las ciudades industriales. Desde esta perspectiva, el interés primordial es conocer la naturaleza y el funcionamiento de las ciudades, las grandes desconocidas, aportando para ello nuevas medidas de aspectos sociales muy relacionados con la calidad de vida y el desarrollo. Se analiza la ciudad desde una doble perspectiva: intraurbana (comparativa entre zonas diferentes de la ciudad) e interurbana (comparativa entre ciudades distintas). Se trata de los antecedentes de los actuales indicadores comunitarios y de sostenibilidad elaborados en un gran número de ciudades del mundo”<sup>11</sup>.*

### 1.3.2. Indicadores, Sistemas de indicadores, índices

*“En términos coloquiales, un indicador (p.e.: emisiones de CO<sub>2</sub>) no es más que un signo que ofrece información más allá del dato mismo, permitiendo un conocimiento más comprehensivo de la realidad a analizar (calentamiento global). En definitiva, el indicador es una medida de la parte observable de un fenómeno que permite valorar otra porción no observable de dicho fenómeno (Chevalier et al., 1992)”<sup>12</sup>.*

Un indicador tiene como función básica la identificación, cuantificación y/o comunicación de un fenómeno específico referido a un objeto de estudio. Estos se convierten en una herramienta sintética para poder aproximarse a una situación en un tiempo y espacio determinados, permitiendo plantear alternativas para mejorar, cambiar o mantener esta situación, y a su vez evaluar la evolución en el tiempo de determinados fenómenos.

De acuerdo con lo dicho por CASTRO BONAÑO J.Marcos, Existen diferentes tipos de indicadores. Partiendo de los indicadores simples, referidos a estadísticas poco elaboradas que se obtienen directamente de la realidad, con información algo limitada, hasta los indicadores sintéticos o índices, que se dan al combinar varios indicadores simples dándole jerarquía a los componentes. Según lo enuncia el mismo autor, se pueden distinguir a su vez indicadores objetivos; los que son cuantificables de forma exacta o generalizada, y los indicadores subjetivos o cualitativos; referidos a percepciones subjetivas de la realidad difícil de cuantificar, pero que ayudan a tener un conocimiento más completo de la misma.

Cabe aclarar que dependiendo del ámbito de estudio, los indicadores cualitativos podrían tener una mayor relación objetiva especialmente cuando el interés se dirige por ejemplo a las condiciones físico espaciales dadas en un contexto urbano.

---

<sup>10</sup> Autor de tesis doctoral: **indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía.** por la universidad de Málaga. 2002.

<sup>11</sup> CASTRO BONAÑO, J. Marcos. **indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía.** 2002.p. 121.

<sup>12</sup> Ibid..p. 122.

Ya que un indicador como tal muchas veces presenta una visión reducida de un fenómeno mucho más complejo, la relación entre indicadores y su organización como sistemas; dirigidos hacia un objetivo común, es necesaria para tener una visión sistémica e integradora de la realidad a analizar.

*“Si cada indicador está referido a un problema específico, el sistema de indicadores responde a un interés genérico y de totalidad. Es decir, el sistema tiene por objeto proveer de una información que es mayor y distinta de la que ofrece cada una de sus partes”<sup>13</sup>.*

Refiriéndose más específicamente a los indicadores de sostenibilidad, estos comenzaron a tomar fuerza sobre todo a partir del lanzamiento de la Agenda 21 desde 1992, desde entonces diferentes propuestas son las que se han planeado, con conceptualizaciones diferentes sobre la sostenibilidad.

*“Detrás de cada propuesta de indicadores se encuentra una determinada conceptualización del desarrollo sostenible. En la conferencia sobre “medida del desarrollo sostenible”, realizada en Bellagio (Hardi y Zdan,1997), se destacó que cualquier proceso de medida y evaluación de la sostenibilidad ha de guiarse por una visión operativa del desarrollo sostenible basada en unos objetivos muy claros, sobre la base de un enfoque comprensivo u holístico. Su finalidad es indicar de alguna forma si las actividades humanas, el uso de recursos naturales o determinadas funciones ambientales pueden considerarse sostenibles de acuerdo a algún criterio de sostenibilidad ad hoc. En definitiva miden la brecha existente entre el desarrollo actual y aquel definido como sostenible (Opschoor y Reijnders,1991), medida que está claramente sesgada hacia los valores básicos de la sociedad actual”<sup>14</sup>.*

La agenda 21 de la conferencia de las naciones unidas sobre medio ambiente y desarrollo (UNCED) considera la función de estos indicadores en su capítulo 40:

*“se necesita desarrollar indicadores de desarrollo sostenible para dotar de bases sólidas la toma de decisiones a todos los niveles y contribuir a la sostenibilidad auto regulada de los sistemas que integran el desarrollo y el medio ambiente”<sup>15</sup>.*

---

<sup>13</sup> *Ibíd.* p. 201.

<sup>14</sup> *Ibíd.* p. 206-207.

<sup>15</sup> *Ibíd.* p. 207.

## **2. CONCEPTUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS ÁREAS VERDES URBANAS Y LOS SISTEMAS HIDROGRÁFICOS, Y SU ACOTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN BAJO EL CRITERIO DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA EN EL CONTEXTO URBANO:**

En este capítulo se analizan y referencian algunos sistemas de indicadores de sostenibilidad en relación con las áreas verdes urbanas y biodiversidad a nivel urbano, y en relación con metodologías de evaluación hidromorfológica; en específico, el **Sistema de Indicadores y Condicionantes para Ciudades Grandes y Medianas** en su ámbito de **Espacios verdes y Biodiversidad** elaborado por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Español en el 2011, y el **Protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos de Catalunya** elaborado por la Agencia Catalana del Agua ACA en el 2006, entre otras referencias relacionadas con la valoración de la naturalidad del territorio .

Se parte de dos visiones (la macro sistémica y el micro sistémica) que contextualizan e unifican estos planteamientos a partir del concepto de la conectividad ecológica en relación con los componentes de un sistema hidrográfico en el contexto urbano.

### **2.1. UNA VISIÓN MACRO SISTÉMICA**

Aproximarse a la conectividad ecológica a partir de la visión macro ; entendiéndola esta como la delimitada por un contexto amplio dentro de un área o territorio , es necesario para poder comprender las dinámicas generales de los sistemas ecológicos, donde sus componentes se relacionan y entran a configurar una red interconectada que da estabilidad al sistema ecológico.

#### **2.1.1. Enfoque conceptual a nivel urbano**

Partiendo del hecho que Los conceptos de conectividad ecológica, fragmentación, y biodiversidad, han tenido una mayor difusión y manejo por lo general en contextos territoriales macro hacia áreas periurbanas, suburbanas y rurales, y por el contrario de forma bastante difusa al interior de la urbe, y de acuerdo con el planteamiento hecho por Ian L. Mcharg:

*“el planificador geométrico nos ofrece otra alternativa distinta: donde la ciudad quede rodeada por una franja verde en que ciertas actividades denominadas verdes-la agricultura, algunas instituciones y otras semejantes –se preserven o incluso, se introduzcan. Estos cinturones verdes allí donde estén previstos por ley, asegurarían la conservación del espacio libre y, ante la carencia de otra alternativa, si que resultan adecuados. Pero sabemos que la naturaleza situada fuera del cinturón verde no tiene porque ser el lugar más adecuado para actividades relacionadas con la agricultura y el ocio. El método ecológico nos diría que los terrenos destinados a espacio libre en la región metropolitana son los que proceden de espacios caracterizados por sus procesos naturales, intrínsecamente idóneos para las actividades “verdes”: ese es el lugar de la naturaleza en una metrópoli”<sup>16</sup>.*

Se reconoce la importancia en la vinculación de las redes ecológicas territoriales con las tramas urbanas, y la identificación de las características de los sistemas naturales al interior de la ciudad, y sus posibilidades de vinculación a una red ecológica general, que permitan restaurar la complejidad perdida por los procesos de urbanización, trascendiendo de los bordes periurbanos hacia el interior de la urbe.

---

<sup>16</sup> MCHARG, Ian L. **Proyectar con la Naturaleza**. edición 2000. p.56.

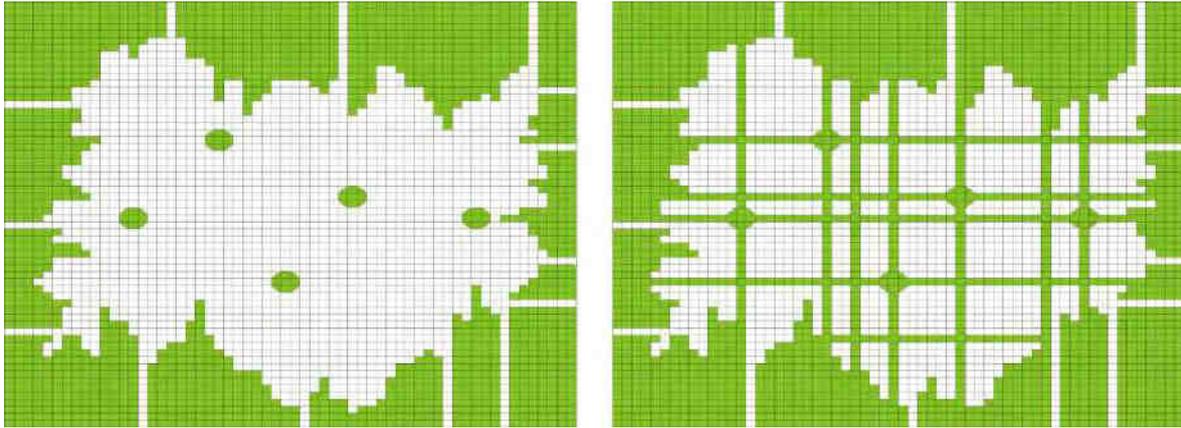


Figura 4. Vinculación de la red ecológica al interior de la ciudad. Elaboración propia.

Para el estudio y análisis de los espacios verdes y la biodiversidad en el contexto urbano bajo una visión sistémica, los sistemas de indicadores se convierten en una herramienta fundamental para poder conocer, comprender y determinar un posible estado de estos, y dar alternativas en la búsqueda de una rehabilitación ecológica.

### 2.1.2. Indicadores de sostenibilidad dentro del ámbito de espacios verdes y biodiversidad a nivel urbano

*“El aumento de la biodiversidad en un contexto urbano se orienta hacia una ordenación del verde urbano que propicie la atracción de avifauna, que haga la traza urbana más permeable a los elementos naturales y que ofrezca espacios verdes de relación y de recreo a la población residente”<sup>17</sup>.*

Dentro del marco del SISTEMA DE INDICADORES Y CONDICIONANTES PARA CIUDADES GRANDES Y MEDIANAS, planteado desde el **Ministerio de Medio Ambiente y Medio rural y Marino Español** junto con la **Agencia de Ecología Urbana de Barcelona**; presentado en las perspectivas de un modelo de ciudad más sostenible, y planteado a partir de unos objetivos básicos de urbanismo más sostenible (la compacidad, la complejidad, la eficiencia y la estabilidad), que estructuran ocho ámbitos de actuación, de donde se desprende el de espacios verdes y la biodiversidad, se presentan un grupo de indicadores que permiten una aproximación general al estado ecológico dentro de los ecosistemas urbanos desde una visión holística a nivel urbano, complementando lo anteriormente planteado.

El ámbito de ESPACIOS VERDES Y LA BIODIVERSIDAD se estructura a partir de tres sub ámbitos:

La **red verde**, planteada como un mosaico de interconexión entre diferentes espacios de diferente carácter como parques, jardines, espacios intersticiales, entre otros, creando una red verde entre las diferentes matrices de la ciudad.

*“La integración y ordenación de la matriz verde y rural mejorará la calidad y funcionalidad de ésta en los procesos urbanísticos. Asimismo, preservará las unidades naturales para evitar procesos de fragmentación”<sup>18</sup>.*

<sup>17</sup> RUEDA, Salvador. **El Urbanismo ecológico/ Sistema de Indicadores y Condicionantes para Ciudades Grandes y Medianas**. 2011. p.40.

<sup>18</sup> *Ibíd.* p.40.

La **Estructura**, tiene relación con la accesibilidad por parte del ciudadano a la red de espacios verdes accesibles. Y relaciona a su vez los componentes del suelo en la configuración espacial.

*“Se compensa el sellado y la impermeabilización del suelo, derivado del proceso de urbanización, mediante la reserva de suelo permeable. Así se promueven patrones urbanísticos de bajo impacto con la disposición de suelos que potencien la vida vegetada, regulen el ciclo hidrológico y mejoren las condiciones de confort ambiental”<sup>19</sup>.*

La **Conectividad del verde urbano**, relacionado con el arbolado viario como uno de los principales elementos vegetales en las ciudades a modo de articulador de la biodiversidad en el ecosistema urbano. De aquí lo importante en la determinación de la densidad y diversidad de los árboles, que potencialice la heterogeneidad del verde y garantice la conectividad del sistema de espacios verdes

*“Se identificarán los corredores verdes urbanos según criterios de permeabilidad del suelo, de confort acústico y de biodiversidad del arbolado”<sup>20</sup>.*

estos sub-ámbitos se relacionan con los tres elementos básicos que conforman el paisaje y que dan estabilidad al mismo: parches, matriz, corredores; planteados en el capítulo anterior.

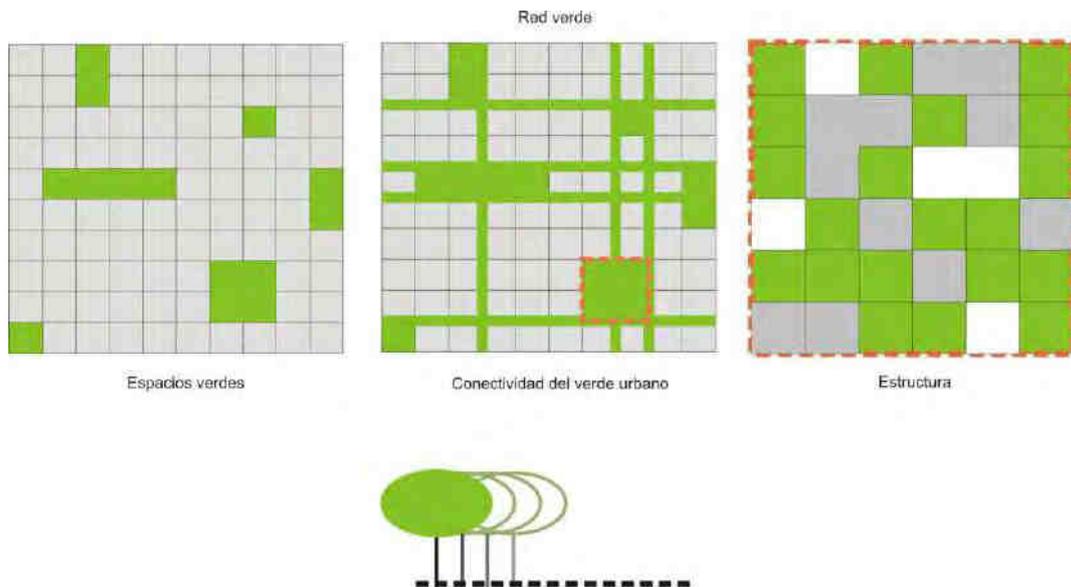


Figura 5. Sub ámbitos espacios verdes y biodiversidad. Elaboración propia.

Partiendo de esto se seleccionan tres de los indicadores que se consideran en relación con el tema y enfoque de esta investigación, los cuales se explican a continuación; de acuerdo con el documento base, a partir de tres puntos: objetivo, definición del indicador y parámetro de evaluación.

<sup>19</sup> *Ibíd.* p.40.

<sup>20</sup> *Ibíd.* p.41.

### 2.1.2.1. El índice biótico del suelo (Ibs)

#### Objetivo:

*“La proporción de suelo permeable en los tejidos urbanos debe garantizar la continuidad de las superficies verdes y la creación de buenas estructuras para el correcto desarrollo de los ecosistemas naturales.*

*El sellado y la impermeabilización del suelo de forma masiva frenan la posibilidad de vida vegetal y la aparición de multitud de organismos dependientes. Por otra parte, conlleva alteraciones en el ciclo hidrológico, en el microclima urbano o en la contaminación atmosférica”<sup>21</sup>.*

#### Definición del indicador:

Según el grado de naturalidad y permeabilidad se asigna un factor dependiendo del tipo de suelo. Para este indicador se definen cuatro tipos de suelo:

- **Suelos con superficies permeables**, al cual se le asigna un valor de **(1)**, y que se refiere a aquellos que se encuentran en su estado natural y sin compactar, manteniendo sus funciones naturales y vegetación, u ofreciendo la posibilidad de que esta se desarrolle.
- **Suelos con superficies semipermeables**, al cual se le asigna un valor de **(0,5)**, referidos a suelos que sin estar en su estado natural aun mantienen parte de sus funciones, son superficies que aun permiten el paso del aire y el agua pero que ya no tienen una función biológica al 100%.
- **Suelos de las cubiertas verdes**, al cual se le asigna un valor de **(0.3)**, y como su nombre lo indica se refiere a los sustratos vegetales incorporados en las cubiertas de edificaciones del área.
- **Suelos impermeables**, al cual se le asigna un valor de **(0)**, referido a las áreas sin estructura ni funciones naturales asociadas, sea edificado o no.

Se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$Ibs (\%) = [\sum (\text{factor de permeabilidad del suelo} * \text{área}) / \text{área total} *]$$

\*Malla de referencia de 200 x 200 m

#### Parámetro de evaluación:

El valor **mínimo** del **>20%**

El valor **deseable** es de **>30%**

---

<sup>21</sup> Ibíd. p.42.

### 2.1.2.2. El índice de funcionalidad de parques urbanos (IFparques)

#### Objetivo:

*“El objetivo del índice de funcionalidad es evaluar el potencial de los parques urbanos para alojar una máxima diversidad de avifauna. La diversidad de un grupo trófico superior, como son las aves, muestra en buena parte la diversidad de grupos inferiores, como son los insectos.*

*Es especialmente interesante de cara al diseño y la gestión de los espacios verdes urbanos ver cómo afectan las características de los parques en la riqueza de especies de aves. Con esta información se pueden diseñar parques urbanos que potencien no sólo los valores sociales de recreo sino también los valores naturales que estos espacios pueden ofrecer”<sup>22</sup>.*

#### Definición del indicador:

Este indicador se enfoca en los parques urbanos (fragmentos) con una superficie mayor a 1 ha, partiendo del análisis de once variables:

**Área (A)**, esta tiene una relación directa con el número de hábitats que se pueden dar, además es inversamente proporcional con el efecto borde generado por la matriz urbana.

Ya que una superficie extensa no garantiza una diversidad de especies, un segundo parámetro evalúa la complejidad estructural, a partir de ocho factores:

**Cobertura arbórea (B)**, mide el porcentaje de árboles en el fragmento, lo que tiene una relación directa con la instalación de aves forestales al interior de la ciudad.

**Cobertura arbustos (C)**, mide el porcentaje de arbustos en el fragmento, valorando la diversidad de hábitats y la posibilidades de protección, reproducción y alimentación de las especies.

**Cobertura de césped (D)**, mide el porcentaje de césped en el fragmento, equilibrando la presencia de este tanto para la presencia de aves propias del agrosistema, pero sin disminuir la capacidad para generar zonas de protección.

**Cobertura de agua (E)**, mide el porcentaje de superficie de agua dentro del fragmento, valorando la presencia de agua como generadora de nuevos hábitats que atraen diversas especies.

**Número de árboles de porte grande (F)**, considerando aquí los árboles con un diámetro de copa superior a 6 m y con alturas por encima de los 15 m.

**Número de árboles de porte medio (G)**, considerando aquí los árboles con un diámetro de copa entre 4 y 6 metros y con alturas hasta 15 m.

**Número de árboles de porte pequeño (H)**, considerando aquí los árboles con un diámetro de copa menor a 4 m y con alturas menores a 6 m.

Los siguientes dos factores reducen la posibilidad de que en el fragmento se dé una rica diversidad de especies:

---

<sup>22</sup> Ibíd. p.46.

**Cobertura artificial (F)**, mide el porcentaje de superficie impermeable dentro del fragmento (camino, zonas pavimentadas, edificios), relacionándose con la pérdida de complejidad y diversidad que generan las grandes superficies descubiertas y especialmente las pavimentadas.

**Distancia al hábitat fuente (K)**, mide en km la distancia que del fragmento hay a un anillo verde o masa boscosa cercana.

*“El aislamiento respecto a espacios naturales periféricos tiene un efecto reducido, debido principalmente a la gran capacidad dispersiva de las aves (el hábitat fuente puede ser difícil de determinar). Es interesante considerar este factor desde el punto de vista de la conectividad, porque los parques más periféricos actúan como atractores de avifauna”<sup>23</sup>.*

Se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$IF_{\text{parques}} = [A0,15 + B0,12 + C0,12 + D0,05 + E0,06 + F0,05 + G0,05 + H0,05 + I0,2 - J0,1 - K0,05]$$

**Parámetro de evaluación:**

El valor **mínimo** del > **7** (tejidos centrales), **7.3** (tejidos medios), **7.5** (tejidos residenciales)

El valor **deseable** es de > **7.5**

### 2.1.2.3. Conectividad de los corredores verdes urbanos (Ccorredores)

**Objetivo:**

*“Los parques urbanos actúan como reserva de numerosas especies, principalmente de aves. La conectividad de los espacios verdes (entre parques urbanos y áreas naturales cercanas a la ciudad) es esencial para mantener la biodiversidad en el ecosistema urbano.*

*Los corredores verdes son franjas de territorio que por sus características ambientales ponen en contacto dos áreas naturales que de otro modo quedarían desvinculadas. Las calles con un buen sustrato permeable y una presencia arbórea diversa actúan como nexo entre estas áreas naturales”<sup>24</sup>.*

**Definición del indicador:**

Evalúa el porcentaje de los corredores verdes urbanos definidos por su función de conectar espacios verdes, en relación con los tramos totales en metros lineales de toda el área.

La definición de los corredores verdes urbanos, se da a partir del análisis de la permeabilidad del suelo, el ruido o la densidad de árboles por tramo de calle.

*Las cifras orientativas recomiendan densidades superiores a 4árboles/10 metros lineales, los niveles de ruido inferiores a 60dB(A) y los índices de permeabilidad del suelo mayores de 0,25.*

Se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$C_{\text{corredores}} (\%) = [\text{tramos de corredores verdes urbanos (m}^2\text{)}/\text{tramos totales de calle (m}^2\text{)}]$$

**Parámetro de evaluación:**

El valor **mínimo** > **5%** de los tramos (superficie del viario)

El valor **deseable** > **10%** de los tramos (superficie del viario)

---

<sup>23</sup> Ibíd. p.47.

<sup>24</sup> Ibíd. p.49.

### 2.1.3. Contextualización

*"Los corredores que atraviesan diferentes zonas de hábitat tienen un potencial para funcionar como canales importantes para muchas especies. Como corredores (principalmente los corredores ribereños) atraviesan el paisaje a través de la parte alta de una cuenca a las zonas más bajas donde convergen y forman ríos y arroyos, que pasan a través de una variedad de tipos de ecosistemas. Por lo tanto, existe un gran potencial para el aumento de la diversidad, la transmisión de nutrientes y el intercambio continuo. Muy a menudo esta condición produce una mejor salud ecológica. Esta condición es un gradiente de diversidad y es otra indicación del valor relativo de un corredor ecológico"<sup>25</sup>.*

Al plantearse la vinculación de un sistema natural base mediante un sistema hidrográfico (red hídrica) en el contexto urbano, el enfoque que se le da al concepto de la conectividad ecológica está ligado directamente con el recorrido dado y el grado de continuidad presente en la estructura de esta red, en relación con el componente físico espacial e infraestructuras que la configura a nivel urbano, enfocándose en el estado que esta presenta desde los bordes periurbanos hasta la vinculación con el eje estructurante (el río).

*"La continuidad es un factor que cuando se combina con otros proporciona una indicación de la conectividad global de un corredor. La presencia o ausencia de las brechas o vacíos de un corredor pueden ser evaluados para determinar la continuidad presente en este. En las zonas urbanas, la continuidad es a menudo interrumpida por las carreteras, la reconfiguración de canales o su cubrimiento, o simplemente por una alteración o impacto humano resultante del uso o abuso"<sup>26</sup>.*

En este contexto conceptos como el de fragmentación están ligados directamente con las condicionantes hidromorfológicas que configuran los ejes de esta red y las infraestructuras dadas a modo de barreras, e intervenciones antrópicas generales presentes en el recorrido de estos, y que han desarticulado la red hídrica original del sistema natural base que conformaban estos corredores.

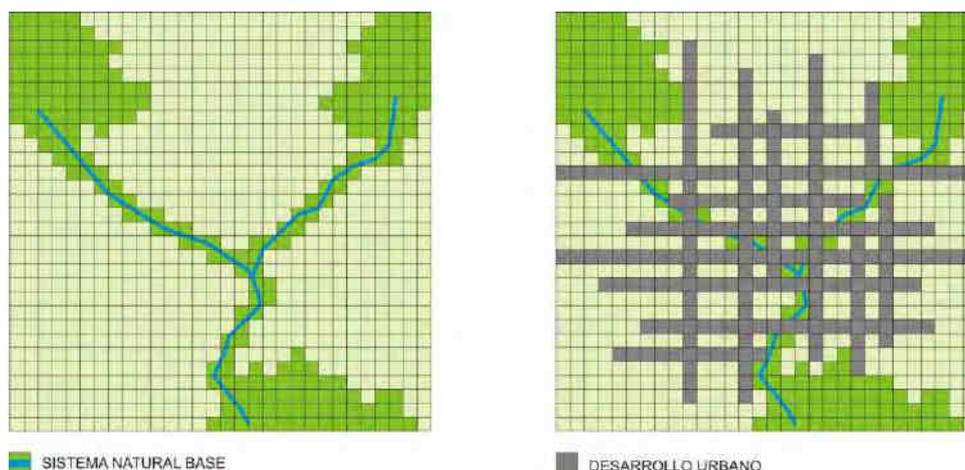


Figura 6. Sistema natural base Vs. Sistema urbano. Elaboración propia.

Cuando se plantea el tema de la conectividad ecológica en relación con el sistema hidrográfico, es fundamental la comprensión de la relación ecológica existente entre los componentes del sistema, tanto en su configuración espacial como con las dinámicas y el estado del recurso hídrico presente, de aquí la importancia de una aproximación hidromorfológica.

<sup>25</sup> COOK, Edward, *Landscape structure indices for assessing urban ecological networks*.2002. p.274.

<sup>26</sup> Ibidem. p.274.

## 2.2. UNA VISIÓN MICRO SISTÉMICA (PARTICULAR)

Todo sistema se compone de subsistemas, y estos a su vez de otros componentes que determinan su estado general. Para poder actuar sobre lo general hay que reconocer, aproximarse y actuar desde lo particular, de aquí la importancia de una visión intermedia o micro sistémica que permita una base de acción más concreta.

Como se ha dejado claro, el interés futuro de este trabajo va dirigido a concretar estrategias de intervención más sostenibles hacia los ejes que configuran los sistemas hidrográficos en el contexto urbano bajo el criterio de la conectividad ecológica, para la regeneración ecológica de la biodiversidad y una gestión más sostenible del recurso hídrico en el medio urbano. Para esto es necesario buscar herramientas y metodologías que permitan hacer una aproximación a los componentes de los sistemas hidrográficos para su entendimiento y valoración, siendo la aproximación hidromorfológica una base para este fin.

### 2.2.1. La aproximación hidromorfológica

En condiciones naturales un río ó cuerpo de agua se puede entender como un ecosistema que está formado por tres elementos o componentes principales: el cauce; donde fluye el recurso hídrico y donde habitan diversidad de organismos animales y vegetales, las riberas; que sirven de protección al cauce y a su vez están cubiertas por vegetación que está sumergida o junto al agua, las márgenes; donde se da una vegetación arbustiva o de mayor porte dependiendo del lugar.

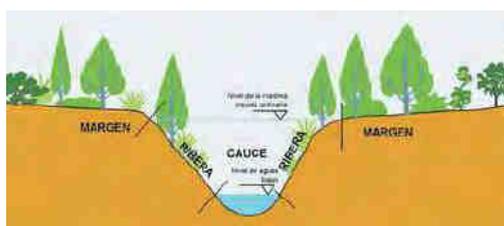


Figura 7. Componentes principales de un eje hidrográfico y relaciones transversales y longitudinales. Fuente: corredor verde del Jamuz. MIGUELES, Epifanio.

La integralidad de estos elementos son los que dan la estabilidad ecológica a los sistemas hidrográficos, y por ende no pueden desvincularse ni tratarse separadamente. De aquí la importancia en la aproximación hidromorfológica.

En el contexto internacional se han desarrollado diferentes protocolos para la evaluación de la calidad hidromorfológica de los cuerpos de agua, estos se han dado básicamente con la finalidad de permitir y complementar el análisis de la calidad integral de los sistemas hidrográficos (su estado ecológico) y cumplir así; como en el caso europeo, con los objetivos marcados por la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea. Algunos de los protocolos desarrollados son:

“ e.g. *The River Habitat Survey* en Gran Bretaña (EA, SEPA, EHS 2003, Raven *et al.* 1998), *System for Evaluating Rivers for Conservation* en Escocia (Boon *et al.* 1997, 1998), el *Danish Stream Habitat Index* (Pedersen y Baattrup-Pedersen 2003), el *Large River Survey* en Alemania (Fleischhacker y Hern 2002), el *Système d'évaluation de la Qualité* en Francia (Agences de l'Eau 2002), o las normas CEN (European Commission 2002a, 2002b) y el proyecto STAR ([www.eu-star.at](http://www.eu-star.at)) de la Unión Europea”<sup>27</sup>.

Estos protocolos son bastante amplios y disponen de diferentes parámetros, variables e indicadores que a su vez requieren diferentes métodos y herramientas para la evaluación ecológica, sin embargo, no es del caso ni está en las posibilidades de este trabajo la implementación de estos

<sup>27</sup> Agencia Catalana del Agua. **Protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos.**2006.p.7.

como tal, aun mas cuando han sido planteados en general desde y para un contexto más rural, por lo que en este caso sirven como referencia para tomar conceptos, parámetros y variables determinantes dentro del planteamiento de la base metodológica de aproximación hidromorfológica a desarrollar en este trabajo para un contexto urbano. En este caso se parte del Protocolo para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos (HIDRI); elaborado por la Agencia Catalana del Agua (ACA) en 2006.

Debido a que se pretende trabajar sobre un sistema hidrográfico bastante alterado por la presión que ha ejercido la urbanización del territorio; una constante en los contextos urbanos a nivel global, es importante definir lo que se entiende como un eje fluvial muy modificado. En este aspecto dentro de la Directiva del Marco del Agua de Cataluña se define una masa de agua muy modificada como:

*“una masa de agua superficial que, como consecuencia de alteraciones físicas producidas por la actividad humana, ha experimentado un cambio sustancial en su naturaleza”*

La misma directiva desarrolla los supuestos por los que se podrá designar una masa de agua como muy modificada (HMWB), y estos son cuando:

*a) los cambios en las características hidromorfológicas de dicha masa necesarios para alcanzar el buen estado ecológico impliquen considerables repercusiones negativas en:*

*-El entorno en sentido amplio.*

*-La navegación, incluidas las instalaciones portuarias, o las actividades recreativas.*

*-Las actividades para las que se almacena el agua, tales como el suministro de agua potable, la producción de energía o el riego.*

*-La regulación del agua, la protección contra las inundaciones, el drenaje de terrenos.*

*-Otras actividades de desarrollo humano sostenible igualmente importantes.*

*b) los beneficios derivados de las características artificiales o modificadas de la masa de agua no puedan alcanzarse razonablemente, debido a las posibilidades técnicas o a costes desproporcionados, por otros medios que constituyan una opción medioambiental significativamente mejor.*

Como lo plantea la directiva marco del agua de Cataluña, allí se han designado provisionalmente como HMWB: Tramos de ríos fuertemente modificados por encauzamientos o por la alteración del régimen hidrológico. Se plantea a su vez que para la designación de estos tramos como HMWB habría que analizar si las medidas de restauración fluvial que se deberían aplicar para lograr el buen estado ecológico: (i) tendrían un efecto significativamente negativo sobre los usos actuales, (ii) serían económicamente inasumibles, o (iii) tendrían implicaciones ecológicas aún peores que las derivadas de la situación actual. (Directiva Marc de l'Aigua a Catalunya)

De acuerdo con lo anterior, poder identificar el estado del sistema hidrográfico y sus componentes dentro del contexto urbano, en un espacio y tiempo definido, es fundamental y determinante para el planteamiento e implementación de estrategias de intervención más sostenibles sobre los ejes fluviales y el sistema que conforman, partiendo de una visión integral, ya sea para lograr su restauración en cuanto sea posible ó su rehabilitación como corredores ecológicos de acuerdo con su potencial de conectividad.

*“Hay que distinguir la restauración, que es devolver el río a su estado natural de origen, de las rehabilitaciones de los ríos, que intentan mejorar la funcionalidad de los ríos a su estado natural. También debemos distinguir las simples mejoras paisajísticas y las canalizaciones que se venden como rehabilitaciones”<sup>28</sup>.*

---

<sup>28</sup> MIGUELEZ, Epifanio M. **Corredor Verde del Jamuz a su paso por Jimenez** .2010. cap. 4. (ref.web)



**Figura 8.** Rio Tamandateí - Sau Paulo Brasil.  
Fuente: Google.



**Figura 9.** Restauración del Río Arnoia – Galicia España. Fuente: corredor verde del Jamuz. MIGUELES, Epifanio.

La identificación de las condiciones generales en el recorrido de tramos fluviales y el grado de modificación de estos, se basa; de acuerdo con lo presentado en la directiva marco del agua, en el análisis de indicadores de calidad hidromorfológica que afectan a los indicadores de calidad biológica, los cuales son: el **régimen hidrológico**, la **continuidad fluvial**, las **condiciones morfológicas**.

Estos indicadores estructuran la evaluación de la calidad hidromorfológica del protocolo anteriormente enunciado, y las metodologías de evaluación de sus parámetros se ven determinadas a su vez por las diferentes redes de control planteadas por la Directiva Marco del Agua así:

“• **Control de vigilancia** (*surveillance monitoring*). Debe aportar información que permita:

- *Complementar y validar el procedimiento de valoración de impacto detallado en el Anexo II de la DMA.*
- *El diseño eficiente y efectivo de futuros programas de control.*
- *La valoración de cambios a largo plazo de las condiciones naturales.*
- *La valoración de cambios a largo plazo fruto de la actividad antropogénica ampliamente extendida.*

• **Control operativo** (*operational monitoring*). Tiene por objetivo:

- *Determinar el estado y evolución de aquellas masas de agua con riesgo de incumplir los objetivos ambientales de la Directiva Marco de la agua.*
- *Valorar cualquier cambio en el estado de estas masas de agua a partir de la aplicación del programa de medidas.*

• **Control de investigación** (*investigative monitoring*). Es necesario establecerlo:

- *En situaciones en las que se superan los límites establecidos por los objetivos ambientales fijados y se desconocen las causas.*
- *Para determinar la magnitud y los impactos en casos de contaminación accidental.*
- *Allí donde el control de vigilancia muestre indicios de incumplimiento de los objetivos ambientales y no se haya establecido todavía el control operativo por falta de información”<sup>29</sup>.*

A continuación se hace una aproximación a cada uno de los indicadores planteados por el protocolo referenciado para la evaluación hidromorfológica de los cuerpos de agua.

<sup>29</sup> Agencia Catalana del Agua. **Protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos.**2006.p.8.

### 2.2.1.1. El régimen hidrológico

#### Objetivo:

Básicamente lo que busca este indicador es evaluar la naturalidad del régimen hidrológico a partir de los regímenes de caudales, y del cumplimiento de los caudales ambientales calculados en cada tramo fluvial.

Estos caudales se han fijado con el objetivo de limitar la explotación y extracción de agua del medio fluvial para garantizar un buen funcionamiento del ecosistema. (Protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos.2006).

El cumplimiento de estos caudales según lo expresa el protocolo referenciado, se aplica a todas las masas de agua, aunque dependiendo de si la masa está sometida a alguna presión por regulación, extracción de agua o por derivaciones hacia mini centrales hidroeléctricas, la evaluación se hace de forma conjunta con el indicador de continuidad fluvial ya que se parte de que estos cuerpos de agua son susceptibles de incumplir con los caudales ambientales por acciones antrópicas, y que en ambos casos se asocian a infraestructuras transversales al cauce que provocan discontinuidad del canal.

#### Definición del indicador:

Para la asignación de un régimen de caudales ambiental o de mantenimiento se buscarán estudios concretos referentes a cada tramo fluvial. En caso de no existir estudios contrastados se procederá a establecer un régimen de caudales ambientales siguiendo el método QPV. (Protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos.2006).

Según se explica, El método QPV se calcula mediante un porcentaje del caudal medio interanual, y se basa en la aportación anual conocida en el tramo fluvial analizado, y fija el caudal básico graduando los porcentajes en función del rango de caudales medios interanuales como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Tabla para calcular el caudal básico en función del caudal medio interanual mediante el método QPV. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Caudal medio $Q$ ( $m^3/s$ )	Caudal básico QPV $Q_b$ ( $m^3/s$ )
$Q < 0,125$	0,025
$0,125 < Q < 2$	20% $Q$ (máximo de 0,3)
$2 < Q$	15% $Q$

Para obtener el caudal de mantenimiento será necesario multiplicar el caudal básico QPV por 0,8 en los meses de julio, agosto y septiembre. Para el resto de meses se utilizará el valor del QPV como caudal ambiental.

Esto último debido a que se trata de la temporada más seca en el territorio catalán, en cada caso se deberían buscar las épocas secas respectivas.

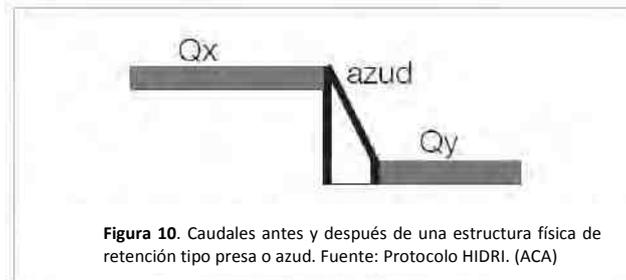
La determinación del nivel de cumplimiento del caudal de mantenimiento (C) se da mediante la siguiente fórmula:

<b>Fórmula</b>	$C = \frac{QM}{QR}$
<b>Parámetros</b>	<p>QM = Caudal de mantenimiento exigido en el momento de la medida</p> <p>QR = Caudal medido <i>in situ</i> o en estaciones de aforo</p>

**Tabla 2.** Tabla para calcular el caudal básico en función del caudal medio interanual mediante el método QPV. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Si se cumplen los caudales de mantenimiento ( $C < 1$ ), se determinará directamente el nivel de calidad. Si se incumplen, habrá que analizar las infraestructuras o afecciones causantes. El incumplimiento de los caudales de mantenimiento se penalizará en la valoración de la calidad hidromorfológica siempre y cuando sea debido a causas antrópicas.

El análisis de las infraestructuras básicamente se basa en la Comparación de los caudales ambientales aguas abajo de la infraestructura vs el presente aguas arriba, ( $Q_y$ ) VS ( $Q_x$ )



**Figura 10.** Caudales antes y después de una estructura física de retención tipo presa o azud. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Cuando el caudal después de la infraestructura ( $Q_y$ ) sea inferior al caudal antes de la infraestructura ( $Q_x$ ), resulta evidente que la infraestructura es causante o por lo menos agravante del hecho que se incumpla el caudal de mantenimiento aguas abajo.

El nivel de calidad según el cumplimiento de los caudales ambientales o de mantenimiento se determina dependiendo del tipo de control, sea de vigilancia; cuando se dispone de un dato tomado in situ, u operativo; cuando se manejan datos de series interanuales mes a mes.

### Parámetro de evaluación:

En masas de agua o tramos fluviales en que no hay infraestructuras de captación, derivación o regulación del flujo y no se cumplen los caudales de mantenimiento, el nivel de calidad del cumplimiento de los caudales de mantenimiento se considera no evaluable. En caso de que no haya infraestructuras y se cumplan los caudales de mantenimiento el nivel de calidad es muy bueno.

En las siguientes tablas se expresa la escala de valores dadas para el nivel de calidad a partir del cumplimiento de los caudales en las tres situaciones enunciadas:

**Tabla 3.** Niveles de calidad según cumplimiento de caudales de mantenimiento dentro del control de vigilancia en tramos sin infraestructuras de captación, derivación o regulación del flujo. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Nivel de cumplimiento (C)	
< 1	> 1
Muy bueno	No evaluable

**Tabla 4.** Niveles de calidad según cumplimiento de caudales de mantenimiento dentro del control de vigilancia en tramos con infraestructuras de captación, derivación o regulación del flujo. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

		Nivel de cumplimiento (C)			
		< 1	1 – 1,2	1,2 – 2	> 2
Qy < Qx	No	Buena	Buena	Buena	Buena
	Sí	Buena	Moderada	Deficiente	Mala

Quando se cumplan los caudales de mantenimiento aguas abajo de una infraestructura, no se realizará la comparación de los caudales aguas arriba y abajo ya que el resultado no afectará en la valoración del nivel de calidad.

**Tabla 5.** Resultados obtenidos en el control operativo en lo que se respecta al cumplimiento de los caudales de mantenimiento. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

		Nivel de cumplimiento (C)	
		< 1	> 1
Qy < Qx	No	Aceptable	Aceptable
	Sí	Aceptable	No Aceptable

### 2.2.1.1.1. Alteración del régimen hidrológico

El método expuesto en el protocolo referenciado determina objetivos en relación con la naturalidad del régimen hidrológico, y un rango de valores que permite determinar si este se encuentra en estado alterado o natural. Según se enuncia en el protocolo:

*El método empleado sigue los principios de la aproximación según el Rango de Variabilidad (RVA) de Richter et al. (1997). El RVA se utiliza actualmente en Estados Unidos, en Canadá y en Sudáfrica como herramienta de diagnóstico habitual (Tharme 2003).*

El RVA se basa en la caracterización de los atributos del régimen de caudal con significado ecológico y su transposición a una serie de objetivos de gestión. Estos objetivos pueden ser entonces usados como guía para el diseño de planes de medidas específicas para la restauración de la naturalidad del régimen hidrológico, como exige la Directiva Marco del agua. (Protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos.2006)

*“Richter et al. (1996) y Poff (1996) sugieren que hay 5 componentes críticos del régimen hidrológico que regulan los procesos ecológicos en los ecosistemas fluviales: la magnitud del caudal, la frecuencia de caudales por encima o por debajo de ciertas magnitudes, el tiempo en que el caudal se mantiene en determinadas condiciones, la temporalidad o predictibilidad de caudales de ciertas magnitudes y la tasa de cambio de los caudales. Hay multitud de variables que definen diferentes aspectos del régimen hidrológico, y por otro lado, no hay ninguna variable que represente por sí sola los procesos importantes para el funcionamiento del ecosistema fluvial. Aún así, es posible aislar los indicadores clave de los 5 componentes críticos previamente mencionados (Clausen y Biggs 1997, 2000). Los indicadores usados son básicamente los Indicadores de Alteración de la Hidrología (IHA) propuestos por Richter et al. (1997)”<sup>30</sup>.*

<sup>30</sup> Ibid.p.16-17.

A su vez se plantea que Las características hidrológicas son necesarias y útiles para evaluar la integridad del ecosistema a lo largo del tiempo por varias razones:

*“ 1. Muchas características abióticas del ecosistema fluvial varían de acuerdo a las condiciones hidrológicas, incluyendo el oxígeno disuelto, la temperatura del agua, los sólidos en suspensión, la distribución de medidas de partículas en el cauce y la estabilidad del sustrato (e.g., Ward y Stanford 1983, Allan 1995, Richter et al. 1996)*

*2. A gran escala, la morfología del canal y de la llanura aluvial viene determinada por los procesos fluviales causados por el caudal, y especialmente por los caudales elevados (Leopold et al. 1964).*

*3. En contraste con los registros de monitoreo biológicos, que son relativamente cortos y con medidas estacionales, las series de caudal son mucho más largas, de precisión diaria y disponibles para una elevada variedad de ríos (de 4 a 10 órdenes fluviales), cosa que permite inferir de forma más robusta el efecto antrópico sobre los ecosistemas fluviales”<sup>31</sup>.*

De acuerdo con lo expresado anteriormente, queda clara la importancia que este componente tiene dentro de la valoración ecológica en los sistemas hidrográficos, y su vinculación con los demás procesos naturales dados en estos sistemas, de allí que no pueda desligarse de las estrategias de intervención y gestión general hacia los ejes hidrográficos, por lo que en esta investigación se mantiene como una referencia general, aunque no se profundice en éste por las posibilidades y enfoque de la investigación.

---

<sup>31</sup> Ibid.p.15-16.

### 2.2.1.1.2. Síntesis

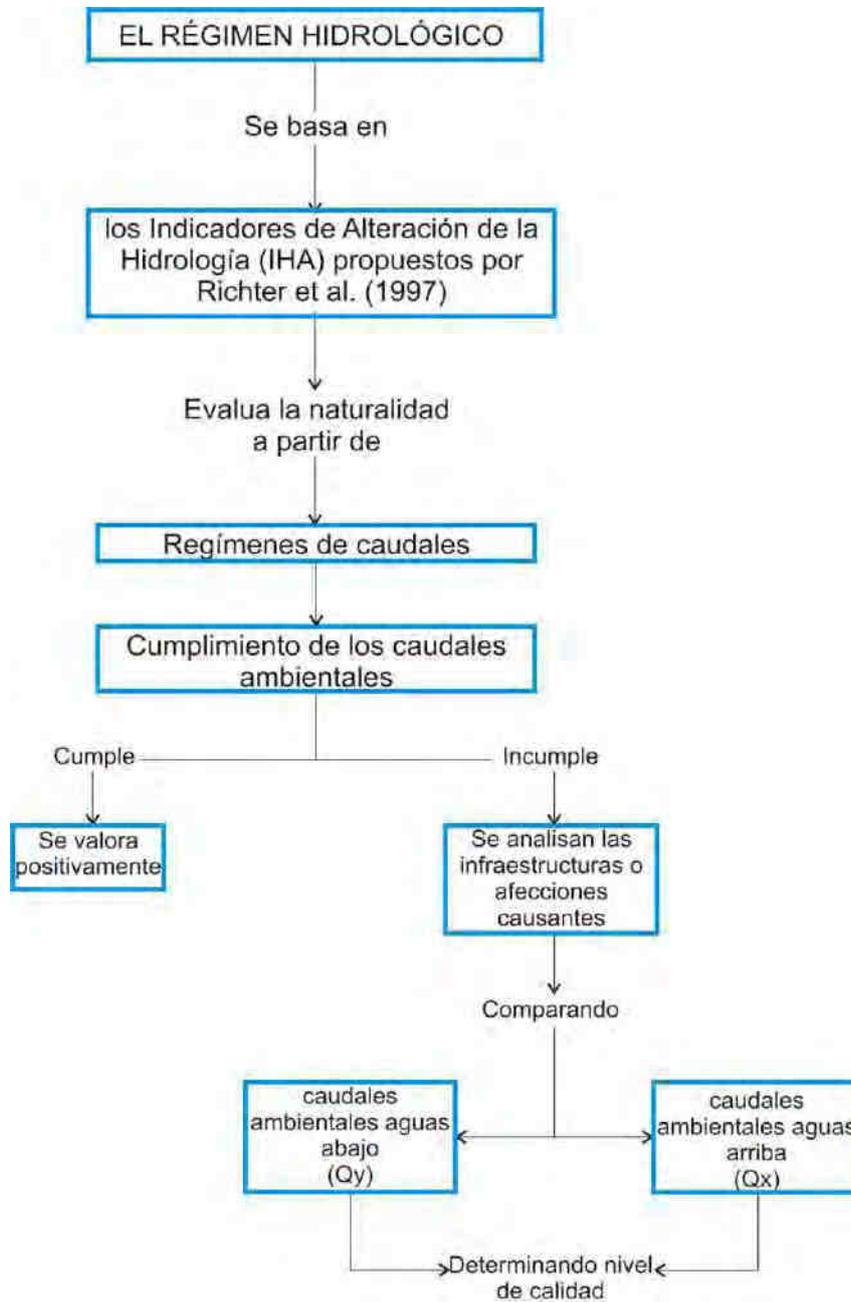


Figura 11. Síntesis régimen hidrológico. Elaboración propia.

### **2.2.1.2. La continuidad fluvial**

#### **Objetivo:**

Todo ecosistema requiere que los flujos de energía fluyan libremente para mantener estos estables. En el caso de los ecosistemas fluviales queda claro que para mantener esta estabilidad, estos no deberían tener barreras que rompan su continuidad.

Como se expresa en el protocolo referenciado, la continuidad fluvial es necesaria para:

- Restaurar las poblaciones naturales – autóctonas – de peces de un río o una cuenca.
- Permitir la recolonización de áreas afectadas por vertidos y otras alteraciones, donde se hayan eliminado total o parcialmente las poblaciones de peces autóctonos.
- Permitir la dispersión de alevines y juveniles; favorecer el refuerzo de las poblaciones autóctonas – y evitar la endogamia.

Más allá de la posibilidad en el desplazamiento de las especies, la continuidad del cuerpo fluvial es indispensable para mantener o restaurar las condiciones ecológicas dadas en relación con los diferentes componentes de los ecosistemas presentes en una cuenca hidrográfica, de aquí la importancia en la evaluación del estado de ésta para posibles estrategias de restauración o rehabilitación ecológica.

#### **Definición del indicador:**

Las barreras físicas situadas dentro del espacio fluvial representan un obstáculo potencial para las comunidades de peces y para otras especies semi-acuáticas, incluso las terrestres, ya que alteran las condiciones del ecosistema fluvial y aíslan diferentes tramos de río impidiendo la función del río como corredor biológico.

La presencia de estas barreras influye negativamente en las condiciones ecológicas, generando la alteración del hábitat y de los procesos naturales que allí se dan, como por ejemplo impidiendo el correcto transporte de sedimentos que termina por alterar el perfil natural del río, creando además un efecto barrera para algunas especies imposibilitadas de sortear estos obstáculos.

#### **2.2.1.2.1. Tipos de barrera**

Ya que es importante la identificación y clasificación de los tipos de barreras para poder valorar la conectividad fluvial, el protocolo referenciado hace una clasificación de los tipos de barrera dividiendo estos en dos grandes grupos:

- Grandes presas: Son obstáculos de decenas de metros de altura y, por lo tanto, claramente infranqueables por la fauna piscícola.
- Pequeñas presas: Son azudes o cualquier otra obra de origen antrópico situada transversalmente al río. Su altura no acostumbra a superar los 10 metros y su cota de coronación no supera la terraza aluvial. No tienen capacidad para laminar grandes crecidas.

En dicho protocolo se ha planteado la evaluación del efecto barrera generado por el segundo grupo de obstáculos (pequeñas presas), para determinar la efectividad de estos sistemas para restablecer la conectividad fluvial.

**Tabla 6.** Definición de las estructuras transversales con capacidad de alteración de la conectividad fluvial. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Estructura	Definición
<b>Grandes presas</b>	
<b>Presa</b>	Muro de tierra o de hormigón en masa transversal al paso del agua y de gran altura (generalmente > 10 m). Tiene una capacidad para retener más de 0,5 hm <sup>3</sup> de agua. Se utiliza para almacenar agua para riego, abastecimiento y para generar energía eléctrica, entre otros usos. Es un obstáculo claramente infranqueable para la fauna piscícola, a no ser que disponga de algún mecanismo especial.
<b>Pequeñas presas</b>	
<b>Azud</b>	Muro de poca altura (generalmente < 10 m) transversal al flujo del agua, que frena el agua y eleva su nivel, generalmente para derivarla fuera del río (para riego o producción de energía eléctrica, principalmente). La capacidad de almacenamiento es inferior a 0,5 hm <sup>3</sup> .
<b>Vado</b>	Estructura baja inundable para avenidas de pequeño periodo de retorno que sirve para facilitar el paso de vehículos y personas. Puede tener diferentes tipologías, pero es frecuente que tengan cilindros u otras formas que permitan el paso del agua por debajo del vado (vados agujereados).
<b>Travesía</b>	Muro enterrado en el cauce de un curso fluvial, transversal a la dirección del flujo, que tiene por objetivo la estabilización del fondo y evitar la erosión remontante.
<b>Puente ferroviario o de tránsito rodado</b>	Estructura de paso de ferrocarril o para la circulación del tránsito rodado sobre un cauce. A veces puede tener una estructura de refuerzo encima del cauce transversal al paso del agua, que puede suponer un obstáculo potencial a la continuidad fluvial.
<b>Estación de aforo</b>	Estructura para medir y controlar los caudales. Suele presentar un pequeño azud que frena el agua para forzar que pase laminada, por un canal de sección conocida. En algunos casos puede representar un obstáculo potencial a la continuidad fluvial.

En el protocolo referenciado se plantea el **Índice de Conectividad Fluvial (ICF)** como indicador fundamental en la determinación de si se alcanza o no un buen estado ecológico en los ejes fluviales.

El índice ICF evalúa el efecto barrera del obstáculo especialmente para las migraciones aguas arriba, pero incorpora también una valoración de los efectos aguas abajo.

#### **Parámetros de evaluación:**

Si bien este indicador se ha planteado con un enfoque especialmente ligado al desplazamiento de las especies de peces dentro del cuerpo de agua, este mantiene una relación directa con el indicador del régimen hidrológico y a su vez con las demás condiciones físico espaciales presentes en los ejes hidrográficos. Sin embargo, no se presenta su escala de valoración en este caso, debido a que su enfoque dentro del protocolo referenciado, se ve descontextualizado con el enfoque y ámbito de esta investigación, y se opta mejor por dejarlo como base conceptual de partida; junto con otros índices como los de conectividad ecológica (ICE), el índice de afectación de barreras (IAB), y el índice de fragmentación ecológica (IFE) enunciados en el primer capítulo, para el planteamiento de la propuesta o base metodológica presentada en el capítulo 4.

### 2.2.1.2.2. Síntesis

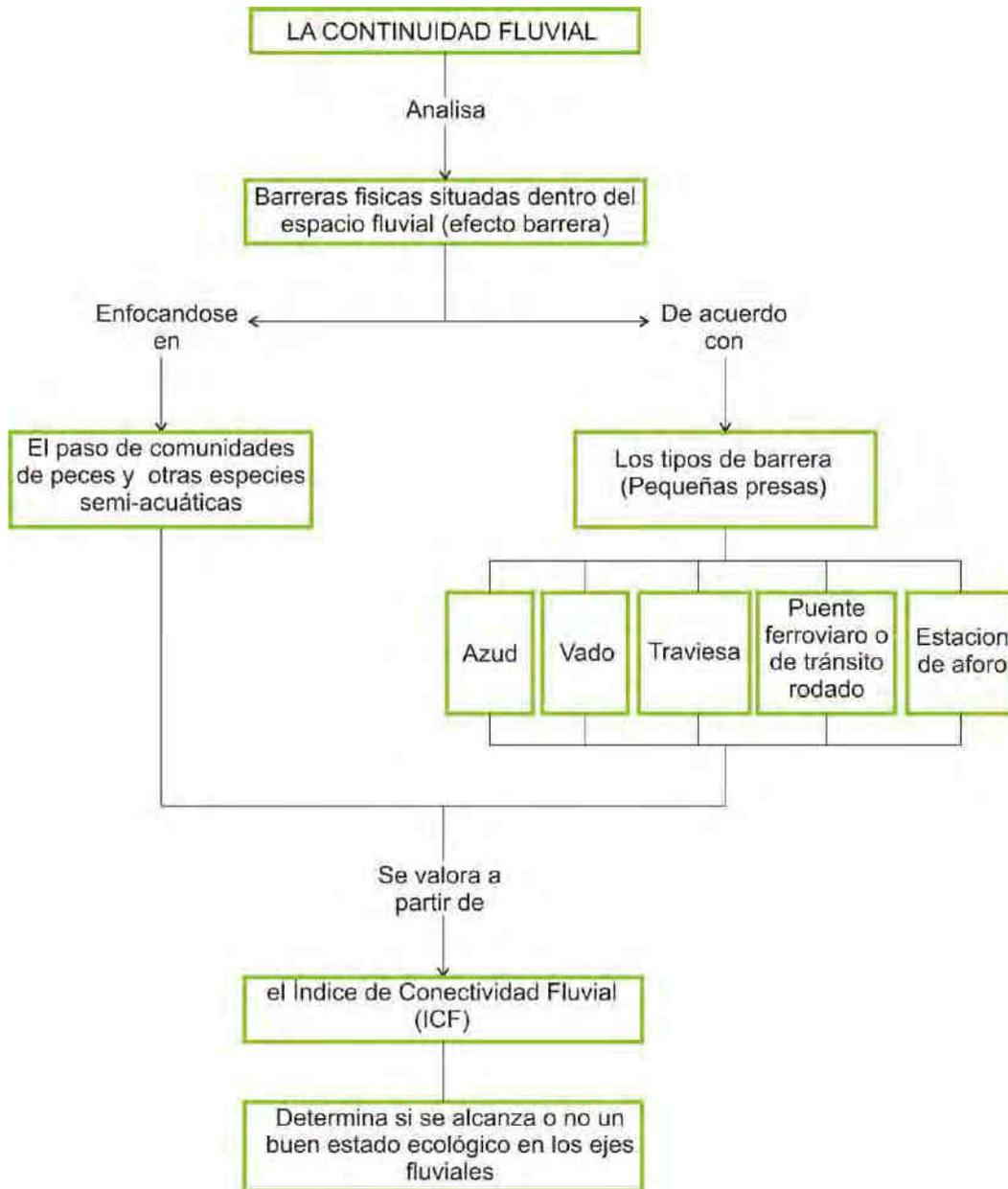


Figura 12. Síntesis Continuidad fluvial. Elaboración propia.

### 2.2.1.3. Las condiciones morfológicas

Dentro de los sistemas naturales toda forma o condición físico-espacial viene de unos procesos, y la alteración de la primera o de los segundos determina el estado ecológico de estos. De aquí la importancia en la valoración de las condiciones morfológicas de los sistemas naturales y de sus componentes.

Diferentes parámetros son los que permiten describir las condiciones morfológicas de los ejes hidrográficos, y son de gran importancia para su caracterización y evaluación morfológica. En el protocolo referenciado se plantean dos grupos de parámetros, unos utilizados mas como información descriptiva o para la caracterización morfológica, y otros mas como parámetros de valoración de la calidad de las condiciones morfológicas de los ríos.

#### 2.2.1.3.1. Parámetros de caracterización morfológica

*“Muchos de los parámetros propuestos tanto en la DMA como en las normas CEN de la UE (European Commission 2002a, 2002b) para valorar la morfología en ríos son descriptores muy útiles en la caracterización morfológica, pero que no se utilizan para determinar un nivel de calidad morfológica del río o tramo de río que describen. Son, pues, parámetros cuya evaluación no está prevista de forma protocolizada para las masas de agua y que, por lo tanto, no se tienen en cuenta en el cálculo final de la valoración de la calidad morfológica del río. De todas maneras es recomendable incluir la medida de estos descriptores en las redes de control, que convendría medir como mínimo una vez cada 6 años, con el fin de tener las masas de agua bien caracterizadas y poder evaluar cambios a largo plazo”<sup>32</sup>.*

En este primer grupo se presentan los parámetros basados en los primeros dos niveles de clasificación de morfología fluvial presentados por Rosgen (1996). El cual presento un sistema que consiste en clasificar las corrientes sobre la base de mediciones de campo cuantificables para producir descripciones consistentes y reproducibles de los tipos de flujo y las condiciones morfológicas. Los cuatro niveles en la jerarquía de la clasificación de Rosgen son: caracterización geomorfológica (Nivel 1), descripción morfológica (nivel 2), evaluación de la corriente (Nivel 3), y la validación y el seguimiento (nivel 4).

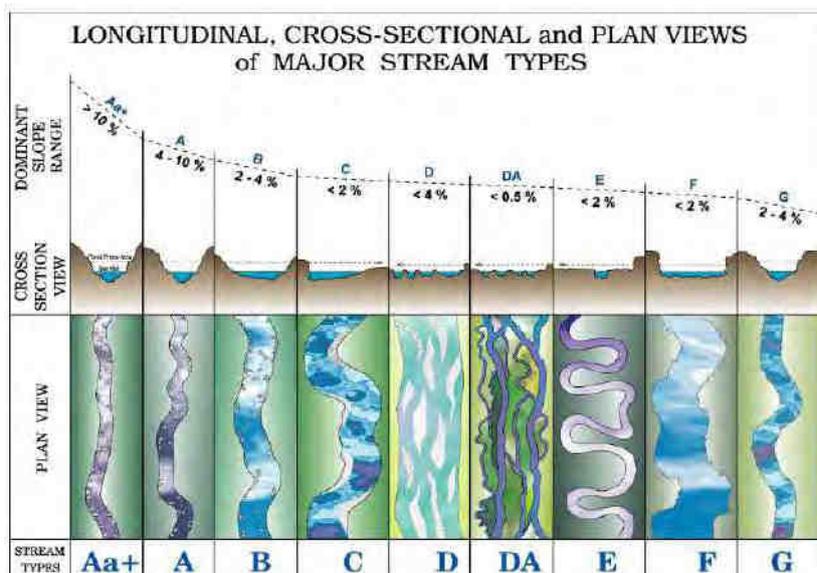


Figura 13. Niveles de clasificación fluvial de Rosgen (1994). Fuente: ROSGEN, David L. A geomorphological approach to restoration of incised rivers.

<sup>32</sup> Ibid.p.32.

Dentro del protocolo referenciado se identifican cuatro parámetros principales: la geometría del canal fluvial, la pendiente media, la variación de ancho y profundidad, y el tipo de valle fluvial.

### 2.2.1.3.1.1. Geometría del canal fluvial

#### Objetivo:

La geometría del canal fluvial es determinante en las condiciones ambientales de un eje fluvial, su relación directa con la velocidad del agua y ésta a su vez con la erosión y sedimentación del valle fluvial y las riveras, y su acción de inundación sobre diferentes áreas, genera unas condiciones ecológicas específicas.

Por medio de este parámetro se busca describir la forma del canal a partir del grado de sinuosidad, y la pendiente media.

#### Definición y Parámetros de clasificación:

Primero se tipifica si el tramo es rectilíneo, sinuoso, meandriforme o trenzado.

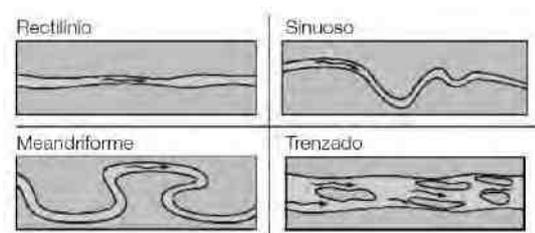


Figura 14. Tipologías de canal (Pedersen et al.2004). Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

De acuerdo con el protocolo referenciado, el grado de sinuosidad para las tres primeras categorías, se calcula de acuerdo con la longitud del canal principal (línea azul), y la longitud de una línea recta que siga el valle o terraza baja del río (línea roja).

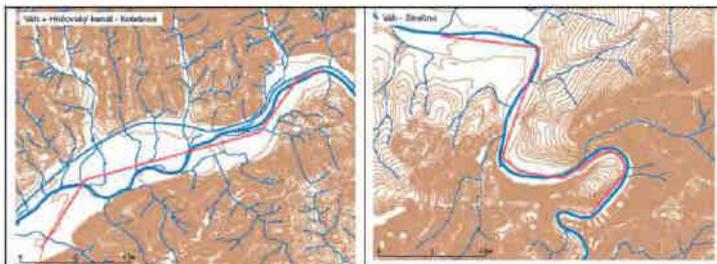


Figura 15. Cálculo de la sinuosidad en 2 tramos de río en Eslovaquia (Pedersen et al. 2004). Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Usando la siguiente fórmula:

$$La\ sinuosidad\ (SI) = longitud\ del\ canal\ principal / distancia\ en\ línea\ recta\ a\ lo\ largo\ del\ valle\ fluvial$$

Se clasifica en una de las categorías presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 8. Clasificación del grado de sinuosidad. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Valor de SI	Grado de sinuosidad
1,00 - 1,05	Recto
1,05 - 1,50	Sinuoso
> 1,50	Meandriforme

“La pendiente media del canal fluvial se calcula como la diferencia (en metros) en elevación entre dos puntos en el sistema fluvial dividido por la distancia (en km) que los separa. La pendiente se puede calcular a partir de análisis con SIG utilizando las dimensiones indicadas en la siguiente tabla”<sup>33</sup>:

**Tabla 9.** Distancia entre puntos para calcular la pendiente en función de las dimensiones del río. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Medida del sistema fluvial	Distancia entre puntos para cálculo de pendiente (m)
Ríos pequeños (orden Strahler 1-2)	2000
Ríos medios (orden Strahler 3-4)	5000
Ríos grandes (orden Strahler > 4)	10000

### 2.2.1.3.1.2. Variaciones en anchura y profundidad del canal fluvial

#### Objetivo:

Al igual que el parámetro anterior, este está directamente relacionado con las condiciones ambientales del eje a partir del comportamiento de la dinámica fluvial y las relaciones ecológicas dadas por su configuración espacial.

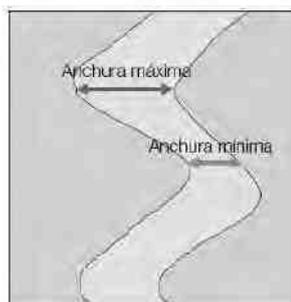
#### Definición y Parámetros de clasificación:

“La variación de anchura se define como la relación entre la dimensión máxima y mínima del canal fluvial (zona de crecidas ordinarias o dominio público hidráulico) en todo el tramo de estudio. La anchura es la distancia entre margen derecho e izquierdo (entre ambas orillas) perpendicular a la dirección del flujo, de forma independiente a las islas que pueda haber. Para grandes ríos, estas dimensiones pueden calcularse a través de SIG”<sup>34</sup>.

Y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Var\_Anch} = \text{Anchura\_máxima (m)} / \text{Anchura\_mínima (m)}$$

Y se clasifican según las siguientes categorías:



**Figura 16.** Medidas para determinar la variación en anchura de un tramo fluvial. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

**Tabla 10.** Categorías según la valoración en la anchura del canal fluvial. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Variación en anchura
Muy elevada (> 2,00)
Elevada (1,51 – 2,00)
Moderada (1,26 – 1,50)
Baja (1,11 – 1,25)
Muy baja (1,00 – 1,10)

<sup>33</sup> Ibid.p.33.

<sup>34</sup> Ibidem.

La profundidad por su parte se valora de forma transversal al cuerpo de agua:

*“El transecto debe ser realizado preferiblemente en zonas de rápidos, y debe incluir la medida tanto de la anchura del río en el momento del muestreo como de la anchura del bankfull u orilla. El bankfull se puede estimar como la distancia entre el máximo nivel del agua en el margen derecho y el máximo nivel en el margen izquierdo durante las crecidas ordinarias (márgenes del dominio público hidráulico)”<sup>35</sup>.*

Esta variación en la profundidad se clasifica en baja, media y elevada, de acuerdo con las variaciones en las secciones analizadas, como se muestra en la siguiente figura:

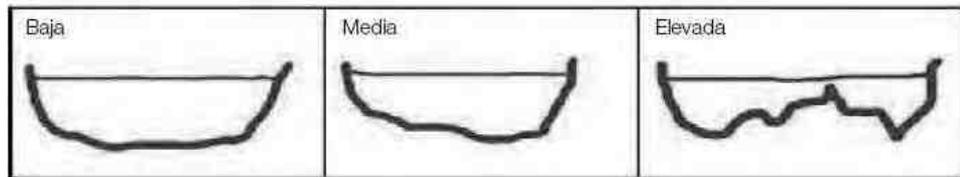


Figura 17. Categorías de valoración en profundidad (Pedersen et al.2004). Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

### 2.2.1.3.1.3. Tipo de valle fluvial

#### Objetivo:

En la línea de los dos parámetros anteriores, este tiene una relación directa con la configuración de las llanuras aluviales y su relación con la dinámica fluvial en relación con condiciones ambientales determinadas.

#### Definición y Parámetros de clasificación:

Este parámetro de caracterización se clasifica de acuerdo con la figura en los siguientes tipos:

- i) Garganta; ii) forma de V; iii) forma de u estrecha (cuando sus riveras se extienden de 0 a 500m); iv) forma de u ancha (cuando sus riveras se extienden mas de 500m); v) no perceptible; vi) asimétrica.

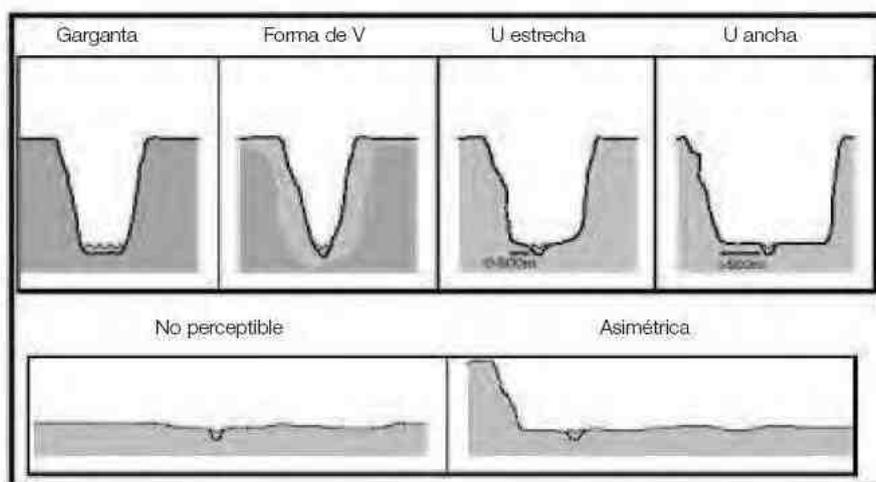


Figura 18. Tipo de valle fluvial (Pedersen et al.2004). Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

<sup>35</sup> Ibidem.

### 2.2.1.3.2. Parámetros de valoración de la calidad de las condiciones morfológicas

Este grupo se define a partir de dos parámetros principales: a) la estructura y sustrato del cauce y márgenes fluviales, y b) La estructura de la zona de ribera.

#### 2.2.1.3.2.1. Estructura y sustrato del cauce y márgenes fluviales

##### Objetivo:

Un estado natural del sustrato y estructura del cauce y márgenes fluviales permite la auto regulación del sistema y su estabilidad, generando unas condiciones ecológicas que varían de acuerdo con las necesidades del sistema.

La valoración de este parámetro es fundamental para una aproximación al estado ecológico de los sistemas hidrográficos.

##### Definición y Parámetros de evaluación:

De acuerdo con el protocolo referenciado se tienen en cuenta dos aspectos principales para la valoración de este parámetro:

El **Grado de alteración del canal fluvial**, enfocado en la alteración de la naturalidad del canal, el cual se evalúa a partir de la proporción del tramo afectado por encausamientos frente a la longitud total del tramo evaluado, diferenciando los tipos de encauzamientos existentes. Estos tipos de encauzamientos están determinados por la estructura de protección utilizada, clasificados de la siguiente forma:

- **Mota:** compactación de tierra al margen del río.
- **Escollera:** obra hecha de grandes piedras.
- **Gavión:** piedras de tamaño medio y grava incluidas dentro de una malla.
- **Muro:** pared gruesa lateral al río.
- **Muro en U:** pared gruesa lateral al río y lecho del río hormigonado.

Como lo plantean en el protocolo referenciado:

*“Se pondera el encauzamiento según si afecta a una o a ambas orillas (si afecta a las dos orillas se computará como dos veces la longitud del encauzamiento), y según el tipo de encauzamiento”.*

se parte de la siguiente fórmula y tabla de ponderación:

**Fórmula** 
$$END = \frac{\sum(\text{Longitud\_encauzamiento} \times \text{coeficiente})}{\text{longitud\_masa\_agua}}$$

**Tabla 11.** Coeficientes de ponderación según tipo de encauzamiento.  
Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Tipo de encauzamiento	Coefficiente
Mota	0,2
Escollera o Gavión	0,5
Muro	0,8
Muro en U (cauce hormigonado)	1

Luego se asignan los niveles de calidad en función del rango de encauzamiento obtenido así:

Tabla 12. Nivel de calidad según el nivel de encauzamiento. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Nivel de calidad	Color identificativo	Nivel de encauzamiento (END)
Muy bueno	Azul	< 0,1
Bueno	Verde	0,1 – 0,2
Moderado	Amarillo	0,2 – 0,3
Deficiente	Naranja	0,3 – 0,4
Malo	Rojo	> 0,4

El segundo aspecto es la **Diversidad de hábitats**, este se evalúa mediante el índice de Hábitat Fluvial (IHF), pero debido a que con sus resultados como tal no se expresa un nivel de calidad, no se tienen en cuenta dentro de la evaluación hidromorfológica, pero si es importante para la caracterización física del cauce. Y como lo enuncian:

*“La valoración de la diversidad de hábitats es, además, esencial para interpretar adecuadamente otros indicadores fundamentales en la determinación del estado ecológico, como son los elementos de calidad biológica”<sup>36</sup>.*

El IHF evalúa en concreto 7 parámetros diferentes que hacen referencia al hábitat fluvial:

- 1- Inclusión de rápidos – sedimentación pozas.
- 2- Frecuencia de rápidos.
- 3- Composición del sustrato y medida de las partículas.
- 4- Regímenes de velocidad/profundidad.
- 5- Porcentaje de sombra en el cauce.
- 6- Elementos de heterogeneidad.
- 7- Cobertura y diversidad de la vegetación.

#### 2.2.1.3.2.2. Estructura de la zona de ribera

##### Objetivo:

Las zonas adyacentes al curso fluvial requieren unas condiciones de naturalidad adecuadas para poder regular y permitir la continuidad ecológica del sistema.

Este parámetro busca valorar el estado del eje a partir de la presencia de diferentes componentes tanto naturales como artificiales presentes en la zona de ribera, siendo fundamental para una aproximación a la conectividad ecológica del sistema.

##### Definición y Parámetros de evaluación:

La evaluación de este parámetro se da a partir de dos niveles. El primero es mediante la **naturalidad de los usos del suelo** presentes en el recorrido del eje fluvial, y un segundo a partir del análisis de **la vegetación de ribera**. Se plantea que el primero puede evaluarse mediante SIG y el segundo mediante trabajo de campo.

<sup>36</sup> Ibid.p.35.

*Las métricas utilizadas son los índices QBR y IVF. El índice QBR puede ser extrapolable en tramos concretos de río mediante el uso de fotografías aéreas. (Protocolo HIDRI. (ACA)*

El primero de los índices; el cual tiene una relación más directa con los intereses de esta investigación, se explica más adelante.

Para la evaluación de La **Naturalidad de los usos del suelo** mediante análisis con el SIG, previamente se debe delimitar lo más preciso posible la zona considerada de ribera en cada tramo o eje fluvial. Esta delimitación se debe realizar a partir de unos criterios, y la metodología a llevar a cabo dependerá de la información y de las herramientas que se tengan al alcance.

Donde se dispone de cartografía según modelo hidráulico, se consideraran las zonas delimitadas como inundables para periodos de retorno de 50 años, complementando esta información con el análisis de fotografías aéreas (escala 1:5.000) para vincular posibles aéreas que presenten una estructura de vegetación riparia y configuración geomorfológica evidentemente modeladas por la influencia fluvial. Posteriormente se hacen correcciones de acuerdo con datos topográficos a partir de planos topográficos o modelos digitales del terreno, excluyendo las zonas que queden a una altura superior a 5m partiendo de la cota de máximas crecidas ordinarias (zona de dominio público hidráulico).sin embargo se plantea que cualquiera que sea la situación, la zona de ribera considerada, tendrá siempre una anchura mínima de 10m a cada lado del límite de máximas crecidas mencionado anteriormente.

Cuando No se dispone de cartografía con delimitación de zonas inundables, se plantea la utilización de *buffers* con anchuras predefinidas de acuerdo con el tamaño del eje fluvial, teniendo en cuenta la superficie de cuenca aguas arriba. En este caso el protocolo referenciado determina una anchura de los buffers para cuencas pequeñas a partir de recomendaciones dadas en diferentes metodologías internacionales para la determinación de los márgenes fluviales y las medidas hechas en campo por las estaciones de referencia de la Agencia Catalana del Agua.

**Tabla 13.** Amplitud de la zona de ribera en cuencas pequeñas utilizada en la valoración de los usos del suelo en función de la superficie de cuenca acumulada. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Superficie de cuenca	Anchura de la zona de ribera (a ambos lados del río)
$\leq 20 \text{ km}^2$	10 m
20 – 200 $\text{km}^2$	20 m
200 – 1000 $\text{km}^2$	40 m
$\geq 1000 \text{ km}^2$	criterio experto

Igualmente se plantea que debe complementarse con el análisis de fotografías aéreas y de planos o modelos digitales topográficos de acuerdo con los criterios anteriormente expuestos.

Cuando ya se ha podido delimitar la zona de rivera, se procede a determinar los usos que se dan, y en qué porcentaje.

*“El análisis de los usos del suelo requiere del uso de SIG. Se puede hacer a partir de cartografía de usos del suelo ya digitalizada o a través de fotointerpretación, digitalizando los polígonos de las diferentes categorías de usos sobre ortofotoimágenes. El uso de una u otra metodología estará en función de la disponibilidad del material más actualizado en cada caso, y también del tamaño del río y las riberas donde se trabaja. Como criterio general, se priorizará el uso de fotointerpretación para ríos pequeños y zonas de cabecera, donde las riberas suelen ser más estrechas y la escala de la información de base puede ser crítica. En valles anchos, con riberas extensas, el uso de capas de información digitalizada a partir de bases cartográficas a escala 1:25.000 o 1:50.000 aporta un nivel de precisión aceptable y supone un ahorro de tiempo muy importante respecto a la fotointerpretación”<sup>37</sup>.*

El protocolo referenciado plantea tres tipos de usos de suelo:

- Usos naturales
- Usos agrícolas
- Usos urbanos

*“La totalidad del área de estudio tiene que estar incluida en una de las tres categorías de usos. La superficie ocupada por el canal fluvial no se contabiliza en ninguna de las categorías y hay que restarla del total del área de estudio”<sup>38</sup>.*

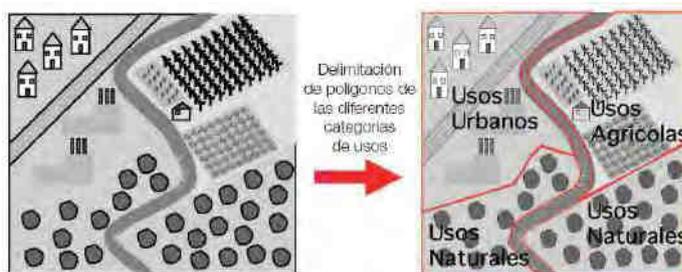


Figura 19. Delimitación de polígonos de categorías de usos del suelo. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Ahora según el porcentaje de cada uso se obtiene el nivel de calidad referenciado en la siguiente tabla:

Tabla 14. Nivel de calidad según los usos del suelo en la zona de ribera. Agrícola + urbano. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

		Nivel de calidad		
		Muy bueno	Bueno	Inferior a bueno
% Usos	Natural	≥85	60	<60
	Agrícola	≤15	40*	>40*
	Urbano	0	5	>5

<sup>37</sup> Ibid.p.37.

<sup>38</sup> Ibidem.

**El análisis de la vegetación**, se hace mediante trabajo de campo y se mide a partir de dos Índices: el de Calidad del Bosque de Ribera (QBR), propuesto por (Munné *et al.* 1998a; 1998b, 2003b); el cual mide la naturalidad o calidad ambiental de las riberas y del canal fluvial, y que se utiliza tanto en el control de vigilancia como operativo. Y el índice de vegetación fluvial (IVF), planteado como un índice florístico que integra la información del conjunto de especies vegetales que se dan en la ribera, utilizado en el control operativo.

A continuación solo se referencia el QBR, ya que el segundo (IVF) implica un análisis mucho más detallado de la vegetación, saliéndose por el momento de los intereses más específicos de esta investigación.

#### **2.2.1.3.2.2.1. Índice de Calidad del Bosque de Ribera – QBR**

##### **Objetivo:**

El componente vegetal es fundamental para la regulación de los sistemas hidrográficos, y su presencia, configuración y estado son determinantes en la conectividad del sistema.

Este índice pretende Valorar el grado de alteración que se da en la ribera a partir de la valoración del bosque presente en esta.

##### **Definición y Parámetros de evaluación:**

La valoración de este índice se hace a partir de tres bloques independientes:

- **El grado de cobertura de la ribera**, determina el porcentaje de las riberas que presentan cobertura vegetal, a su vez valora la conectividad entre riveras y los sistemas forestales adyacentes. Se plantea como una medida de continuidad lateral en el ecosistema fluvial.
- **La estructura de la vegetación**, valora el porcentaje de árboles y arbustos, la discontinuidad entre las manchas de vegetación y la existencia de cobertura de suelo en la ribera.
- **La calidad de la cobertura**, mide la diversidad de las especies del bosque de ribera de acuerdo con las condiciones geomorfológicas del sistema. Se plantea que para los sistemas con riberas estrechas y de mucha pendiente se exige menos diversidad que en las riberas planas y extensas, pero manteniendo un mismo nivel de calidad. En este bloque a su vez se tienen en cuenta la continuidad longitudinal de una franja de bosque a lo largo del canal fluvial, la existencia de infraestructuras humanas hacia las riberas, y la presencia de vertederos o zonas de desechos.

El QBR es un índice que se aplica a un tramo corto del cuerpo fluvial, aproximadamente entre unos 100-200 metros, y ya que no abarca la totalidad de la longitud se debe aplicar en diferentes puntos del eje fluvial para llegar a resultados representativos del estado de las riberas en el conjunto del río. Delimitando la zona de ribera como se explico en el subcapítulo anterior, y determinando grandes áreas homogéneas en cuanto a usos del suelo y apariencia similar de las riberas se determinan las áreas donde aplicar el índice.

Para lo anterior, Se procede con los siguientes pasos según lo plantea el protocolo referenciado:

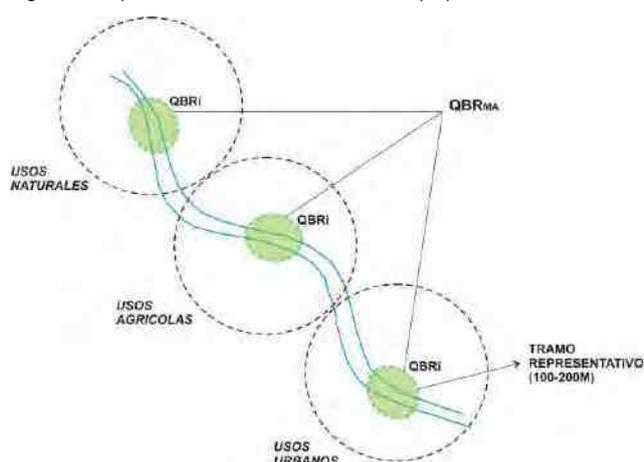
- *Delimitar la zona de ribera.*
- *A partir de la catalogación de los usos del suelo se definirán polígonos transversales al río o tramos de río con márgenes fluviales homogéneos, con usos parecidos y aspecto continuo. No se tendrán en cuenta usos del suelo con representación espacial inferior a 1 ha. Se utilizará cartografía disponible de usos del suelo (escala 1:50.000 o 1:25.000), o, cuando ésta no esté disponible o en ríos con márgenes fluviales estrechos, se procederá al análisis de fotografía aérea a escala 1:10.000.*
- *En caso de que los usos de los márgenes fluviales sean homogéneos en gran parte de la masa de agua, se realizará una medida del valor del QBR como mínimo cada 10 km.*
- *En cada zona delimitada o tramo de masa de agua diferenciado se medirá el QBR en un punto de muestreo representativo.*

La valoración final del QBR se da a partir del promedio obtenido en cada tramo, ponderando estos con las longitudes del tramo representativo y la longitud total a evaluar, teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

<b>Fórmula</b>	$QBR_{MA} = \frac{\sum QBR_i \times (long\_tramo\_QBR_i)}{long\_total\_MA}$
<b>Parámetros</b>	<p><math>QBR_{MA}</math> = valor integrado del QBR para toda la masa de agua</p> <p><math>QBR_i</math> = puntuación del QBR obtenida en el tramo representativo <math>i</math></p> <p><math>long\_tramo\_QBR_i</math> = longitud del tramo fluvial representado por el <math>QBR_i</math>. No corresponde al tramo donde se ha aplicado el índice, sino a la longitud del tramo del área homogénea del cual el <math>QBR_i</math> es representativo</p> <p><math>long\_total\_MA</math> = longitud total de la masa de agua</p>

Tabla 15. Valoración total del QBR en la masa de agua. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

Figura 20. Esquema valoración del QBR. Elaboración propia



### 2.2.1.3.3. Valoración de las condiciones morfológicas

*El nivel de calidad final de las condiciones morfológicas se establecerá teniendo en cuenta las valoraciones hechas sobre el nivel de encauzamiento, la naturalidad de los usos del suelo en la zona de ribera, y la calidad del bosque de ribera, todo en función del tipo de control a realizar.*

Si lo que se pretende es una valoración unificada del estado de las condiciones morfológicas, ésta se obtiene por medio del control de vigilancia, el cual determina un nivel de calidad final combinando los resultados de los tres parámetros enunciados anteriormente. En primera instancia se combinan los resultados del  $QBR_{MA}$  con el grado de naturalidad de la ribera, y se obtienen el nivel de calidad de la ribera. Luego se combinan el nivel de calidad obtenido con el nivel de encauzamiento, obteniendo así el nivel de calidad de las condiciones morfológicas, como se referencia en las siguientes tablas:

**Tabla 16.** Nivel de calidad de la ribera, valorado a partir del grado de naturalidad de la ribera según los usos del suelo y de la calidad del bosque de ribera según el índice QBR. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

		QBR <sub>MA</sub>				
		Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
Grado de naturalidad de la ribera	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno	Moderado	Deficiente
	Bueno	Bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
	Inferior a bueno	Moderado	Moderado	Moderado	Deficiente	Malo

**Tabla 17.** Nivel de calidad de las condiciones morfológicas, valorado a partir del nivel de calidad de la ribera y del nivel de encauzamiento. Fuente: Protocolo HIDRI. (ACA)

		Valoración del nivel de calidad de la ribera				
		Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
Valoración del nivel de encauzamiento	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Moderado	Moderado	Deficiente
	Bueno	Bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Deficiente
	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Deficiente	Deficiente
	Deficiente	Moderado	Moderado	Deficiente	Deficiente	Malo
	Malo	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Malo	Malo

Por su parte en el control operativo; como lo expresan en el protocolo referenciado, al no tener como objetivo la determinación del nivel de calidad hidromorfológica, sino la correcta implantación y seguimiento del programa de medidas previsto, se tienen en cuenta la valoración individual de cada parámetro.

### 2.2.1.3.4. Síntesis

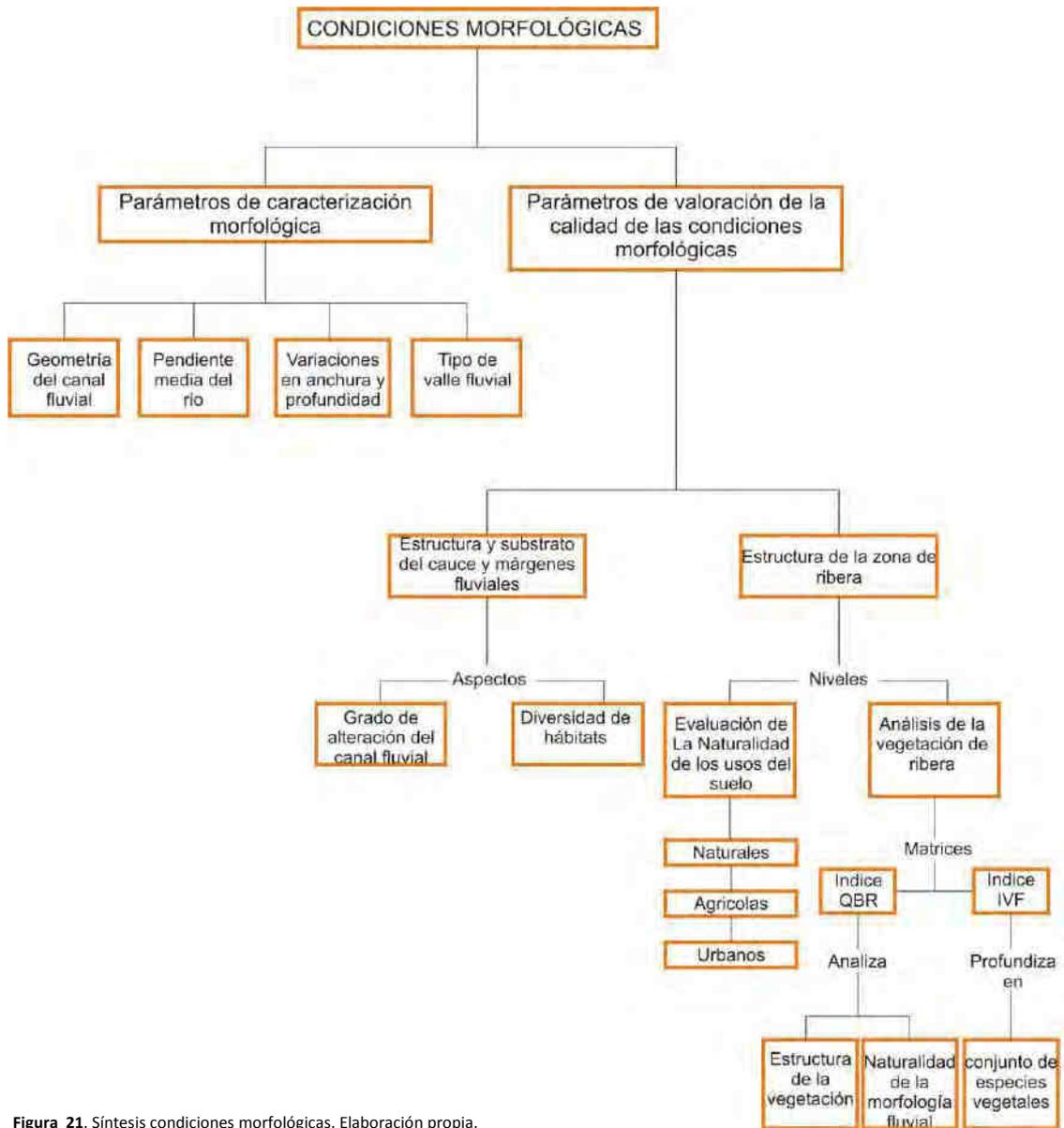


Figura 21. Síntesis condiciones morfológicas. Elaboración propia.

### 2.2.1.4. Valoración de la calidad Hidromorfológica

*“La calidad hidromorfológica se asignará teniendo en cuenta el nivel de calidad más bajo de los tres elementos de calidad empleados: régimen hidrológico, continuidad fluvial y condiciones morfológicas”<sup>39</sup>.*

<sup>39</sup> Agencia Catalana del Agua. Protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos.2006.p.40-41.

## 2.2.2. Contextualización y delimitación

En los subcapítulos anteriores ha quedado claro que para que se den unas condiciones ecológicamente estables dentro de los sistemas hidrográficos, intervienen de forma integral los tres componentes hidromorfológicos principales, y para el análisis, evaluación, intervención y restauración o rehabilitación de estos sistemas, son componentes que no pueden desligarse ya que son interdependientes.



Figura 22. Esquema componentes hidromorfológicos. Elaboración propia.



Figura 23. Condiciones de equilibrio ecológico en sistema hidrográfico. Elaboración propia.

Sin embargo también queda claro que las condiciones morfológicas a modo de base o matriz del sistema, son determinantes para el entendimiento, valoración e intervención de estos ejes, y a su vez, de la mano del componente de la continuidad fluvial, presentan un escenario para la aproximación a la conectividad ecológica.



Figura 24. Jerarquización de los componentes hidromorfológicos en relación con la conectividad ecológica. Elaboración propia.

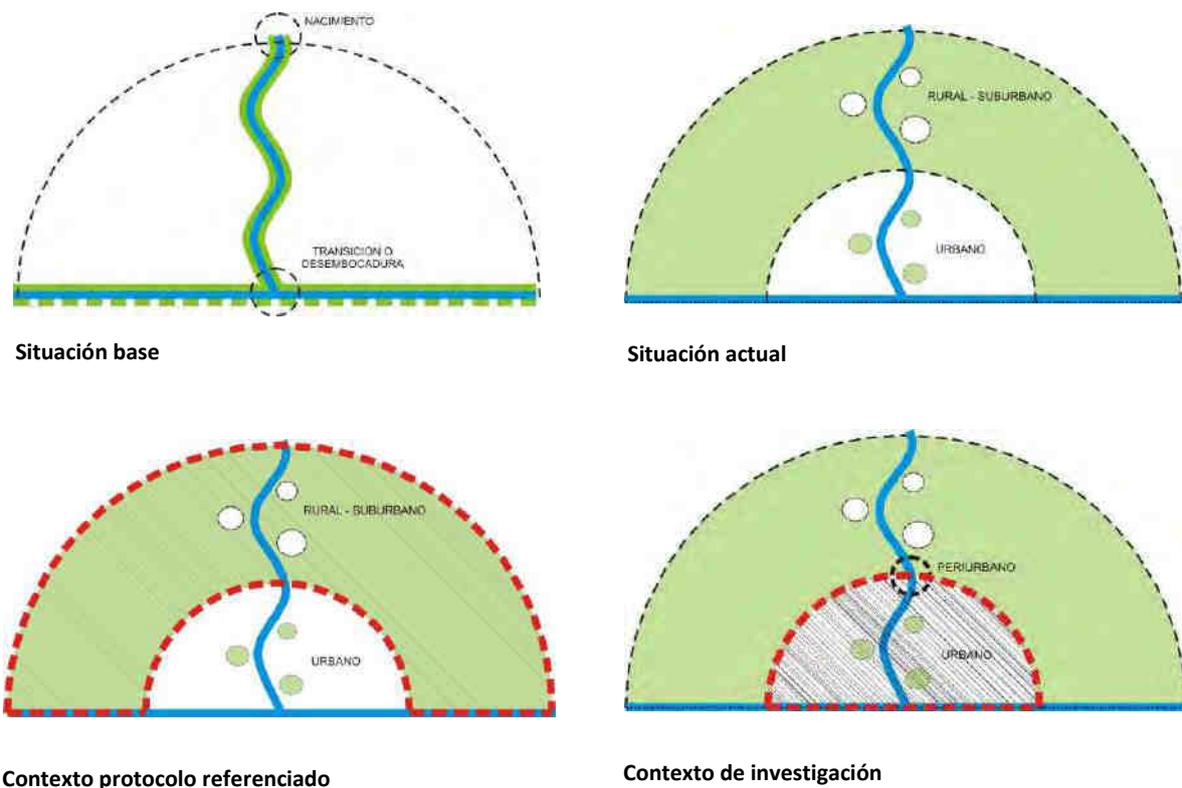
Según se plantea en los subcapítulos anteriores, el objetivo de los protocolos enunciados y de sus respectivos indicadores y parámetros de valoración, es hacer una evaluación del estado de los cuerpos de agua para determinar unos niveles de calidad hidromorfológica establecidos de acuerdo con unas condiciones de referencia. Cabe aclarar a su vez que el protocolo referenciado se plantea dentro de un contexto amplio, enfocándose en áreas que comprenden entornos con relaciones más suburbanas y rurales que netamente urbanas y periurbanas, donde las condiciones ecológicas de los ejes hidrográficos presentan unas mejores condiciones ecológicas de partida.

Por su parte esta investigación ;como se plantea en el objetivo general, más que llegar a la valoración de unos niveles de calidad hidromorfológica en los cuerpos de agua que conforman un sistema hidrográfico; ya que se parte de un contexto urbano que evidencia un sistema claramente alterado, con ejes hidrográficos por lo general modificados en sus condiciones ecológicas base, lo

que se pretende es posibilitar una base que permita una aproximación y valoración de las características y condiciones hidromorfológicas de los ejes presentes un sistema hidrográfico en el contexto urbano bajo el criterio de la conectividad ecológica, que permitan a futuro plantear estrategias de rehabilitación ecológica que potencialicen la conectividad ecológica en los ejes hidrográficos al interior de las áreas urbanas bajo la óptica de un urbanismo más sostenible.

A su vez aunque se reconoce que el estado ecológico de los ejes fluviales depende de las condiciones dadas en la totalidad del recorrido de estos; desde su nacimiento hasta la desembocadura a un siguiente cuerpo fluvial, en este caso, de acuerdo con lo planteado y en contraste con el protocolo referenciado se delimita a las relaciones del eje fluvial en el contexto urbano.

Figura 25. Esquemas de contextualización .Elaboración propia



Al valorar las condiciones hidromorfológicas, se evidencia a su vez el estado de la conectividad ecológica dentro del sistema, siendo esta última directamente proporcional al buen estado de las condiciones hidromorfológicas.

Más que un veredicto final, lo importante es la contextualización de los diferentes parámetros de evaluación y la adaptación o planteamiento de unos indicadores de conectividad ecológica en ejes hidrográficos a nivel urbano a partir de los ya planteados en contextos mas rurales, para una posterior implementación que permita la caracterización de los ejes fluviales y la valoración del potencial de conectividad que estos puedan tener en el contexto urbano.

## 2.3. ACOTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

### 2.3.1. Visión integrada

*“La conectividad ecológica, como cualquier otro fenómeno ecológico, es dependiente de la escala. Es decir, cada escala de análisis permite detectar funciones de conectividad que resultan indetectables a escalas superiores o inferiores”<sup>40</sup>.*

Por esto, y de acuerdo con lo planteado en los subcapítulos anteriores, no se puede entender el sistema sin mirar sus componentes (sub-sistemas), y estos a su vez hay que mirarlos como parte de un todo.

No son muchas las aproximaciones metodológicas que se han encontrado para la valoración de los sistemas hidrográficos generales y sus componentes, en relación con las infraestructuras o intervenciones antrópicas dadas en un contexto urbanizado.

En este sentido se tiene la referencia del planteamiento de un **índice de naturalidad** para espacios fluviales adaptado por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona para la revisión del plan de ordenamiento del litoral de Galicia POLGA, a partir de otro índice ya dado (índice de naturalidad) Basado en los estudios del ecólogo Antonio Machado (Universidad de la Laguna). Dicho índice plantea una escala de valoración de 0-10 a partir de la combinación de diferentes indicadores, los cuales son:

1. **Grado de artificialización del territorio (Art):** para el cálculo de este indicador es necesario; capa usos del suelo, distinguiendo aquellos elementos artificiales que tienen un impacto en el paisaje; carreteras, ferroviario, vertederos, puertos, asentamientos “tipos”, campos de golf, granjas, industria, depuradoras, centrales térmicas, campos eólicos. Este indicador evalúa un aspecto paisajístico. (magatzem naturalidad)
2. **Grado de alteración geomorfológica del territorio (Ageo):** para el cálculo de este indicador es necesario; capa usos del suelo, especificando algunos de los usos artificiales (puertos, carreteras, vertederos, ferroviario, construcciones y la capa de pendientes. Este indicador evalúa un aspecto geomorfológico, grado de alteración física.(magatzem naturalidad)
3. **Grado de permeabilidad ecológica (Pe):** capa usos del suelo. Este indicador evalúa un aspecto ecológico. (magatzem permeabilidad ecológica).  $Ie = 10 - Pe$  (Impermeabilidad ecológica (Ie), permite sumar el valor de permeabilidad (valor positivo, mejora la naturalidad) con los otros indicadores que un valor alto de los cuales empeora la naturalidad)
4. **Grado de perturbación potencial del territorio (P):** red viaria y usos artificiales que tienen un efecto barrera, este indicador evalúa un aspecto ecológico.(magatzem permeabilidad ecológica)

Calculándose a partir de la siguiente ecuación:

$$INc = 10 - (Art * 0,25) + (Ageo * 0,25) + (Ie * 0,25) + (P * 0,25)$$

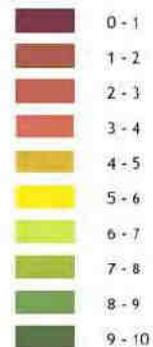
---

<sup>40</sup> **MAGARREL, Josep maría.** Análisis y diagnóstico de la conectividad ecológica y paisajística en el sector sur del Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz. **2004. p. 6.**

Y se valora a partir de la siguiente tabla:

Tabla 18. Valoración del índice de naturalidad. Fuente: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona –POLGA.

PUNTUACIÓN	DESCRIPCIÓN
10	<b>Sistema natural de calidad.</b> Sólo se dan y están presentes procesos y elementos naturales. Eventual presencia inapreciable o anecdótica de elementos antrópicos. Eventual contaminación físico-química proveniente del exterior.
9	<b>Sistema natural.</b> Infraestructuras artificiales mínimas o transitorias. Eventual contaminación físico-química no significativa.
8	<b>Sistema subnatural.</b> Elementos artificiales localizados, no extensivos. Dinámica natural poco alterada.
7	<b>Sistema casi-natural.</b> Actividades antrópicas extensivas de bajo impacto físico, eventuales asentamientos dispersos inconexos, estructuras naturales modificadas pero no desvirtuadas.
6	<b>Sistema seminatural.</b> Infraestructura antrópica escasa o concentrada. Dinámica aun dominada por procesos naturales.
5	<b>Sistema cultural autosostenido.</b> Procesos condicionados por actividades extensivas del hombre. Poca presencia de elementos artificiales. Asentamientos dispersos.
4	<b>Sistema cultural asistido.</b> Infraestructuras y/o condicionamiento del medio físico importantes. Elementos naturales mezclado, en mosaico.
3	<b>Sistema muy intervenido.</b> Áreas con producción biológica (natural/cultivos) o mezclas con infraestructuras/construcciones. Geomorfología del suelo alterada.
2	<b>Sistema semitransformado.</b> Producción biológica no dominante, desarticulada, predominio de elementos construidos, eventual desarrollo en vertical (compacidad baja).
1	<b>Sistema transformado.</b> Dominio de elementos artificiales, desarrollo en vertical importante, infraestructuras viarias importantes, presencia testimonial de elementos naturales.
0	<b>Sistema artificial.</b> Alteración del sistema completa.



Sin embargo cuando se plantea el tema de la conectividad ecológica, esta referencia no permite una aproximación clara en este aspecto, ya que se limita a valorar el grado de naturalidad o artificialización presente en el sistema hidrográfico delimitando las áreas fluviales, pero a partir de un índice previamente aplicado a todo el área con una escala de aproximación general, como se muestra la siguiente figura.

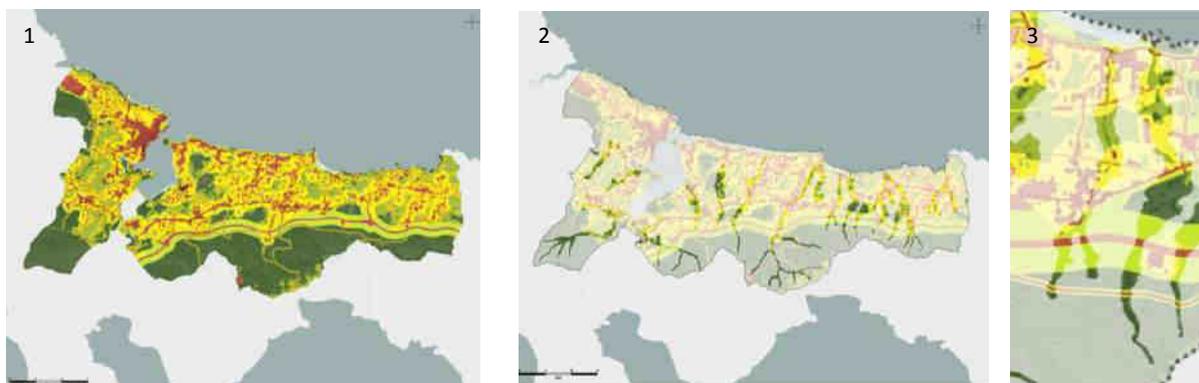


Figura 26. 1. Mapa índice de naturalidad en zona I- POLGA, 2-3. Mapa índice de naturalidad en espacios fluviales en zona I- POLGA. Fuente: Agencia de Ecología urbana de Barcelona – POLGA.

Y aunque la naturalidad de un sistema puede determinar a su vez mayores o menores niveles de conectividad, es necesario hacer una aproximación mas específica a partir de los componentes o ejes principales que conforman un sistema hidrográfico.

Partiendo de una aproximación a los componentes que conforman el sistema hidrográfico (ejes de quebrada) y de sus relaciones hidromorfológicas particulares dentro del sistema general, se pretende plantear una base cuantitativa que permita desde lo particular poder valorar el estado ecológico del sistema hidrográfico en relación con las infraestructuras que lo configuran, y su potencial de conectividad ecológica en un contexto urbano para una gestión más sostenible de estas áreas.

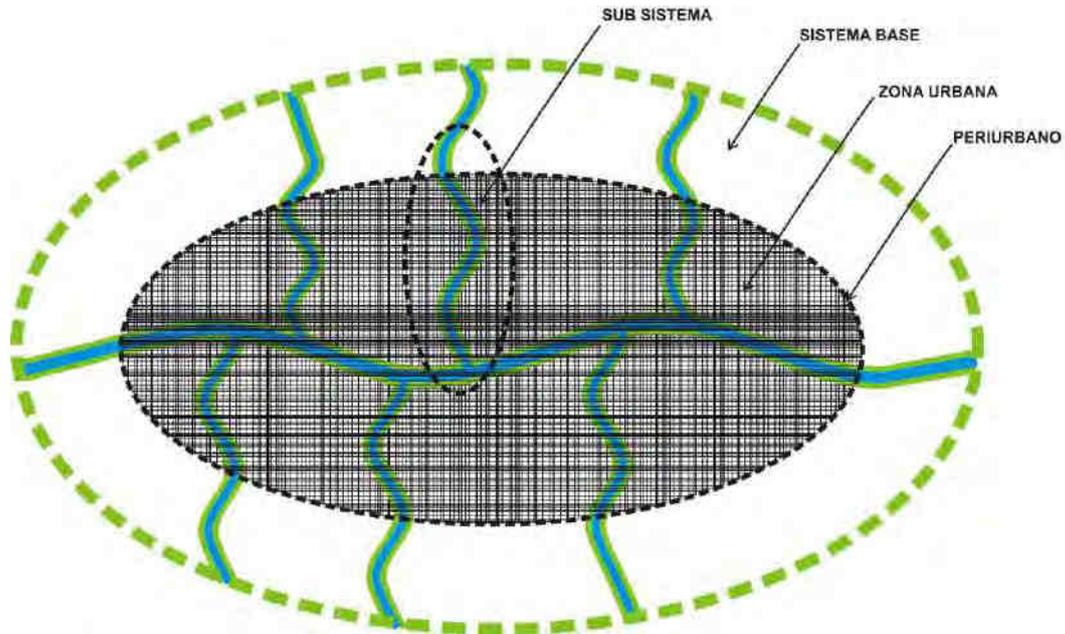


Figura 27. Esquema síntesis de contextualización y acotación. Elaboración propia.

### 2.3.2. Síntesis referencial

De acuerdo con lo presentado en los subcapítulos anteriores se hace una síntesis de los diferentes indicadores referenciados y conceptualizados anteriormente, clasificándolos por tema, tipo, contexto de aplicación y ámbito.

Tabla 19. Cuadro de síntesis referencial. Elaboración propia

TEMA	INDICADORES	TIPO				COTEXTO DE APLICACIÓN SEGÚN REFERENCIA			AMBITO		
		simple	sinético	cuantitativo	cualitativo	rural	suburbano	urbano /periurbano	macrosistémico territorio	microsistémico ciudad (componentes)	
CONECTIVIDAD	Conectividad ecológica (ICE)										
	El índice de afectación de barreras (IAB)										
	El índice de fragmentación ecológica (IFE)										
ESPACIOS VERDES Y BIODIVERSIDAD	El índice biótico del suelo (Ibs)										
	El índice de funcionalidad de parques urbanos (Ifparques)										
	Conectividad de los corredores verdes urbanos (Ccorredores)										
HIDROMORFOLOGÍA	EL RÉGIMEN HIDROLÓGICO							indiferente			
	LA CONTINUIDAD FLUVIAL										
	LAS CONDICIONES MÓRFOLÓGICAS	Índice de Conectividad Fluvial (ICF)									
		Geometría del canal fluvial									
		Variaciones en anchura y profundidad del canal fluvial							indiferente		
		Tipo de valle fluvial									
		Grado de alteración del canal fluvial (*)									
		Naturalidad de los usos del suelo (**)									
		Índice de Calidad del Bosque de Ribera – QBR (**)									
	NATURALIDAD (índice de naturalidad de espacios fluviales)	Grado de artificialización del territorio (Art)									
Grado de alteración geomorfológica del territorio (Ageo)											
Grado de permeabilidad ecológica (Pe)											
Grado de perturbación potencial del territorio (P)											

Estructura y sustrato del cauce y márgenes fluviales(\*) - Estructura de la zona de ribera/análisis de la vegetación (\*\*)

Si bien el análisis hecho se ha concentrado en algunas metodologías y/o protocolos específicos dentro del contexto europeo y más específicamente del Español, y aunque no es el objeto de esta investigación hacer un inventario de las metodologías o protocolos hechos en relación al tema de interés, Lo que se evidencia en la aproximación hecha es que por lo general los indicadores relacionados con la conectividad ecológica en el ámbito del planeamiento urbano hacen parte de protocolos o metodologías mas enfocadas a valorar el estado de esta en contextos suburbanos y rurales ya sea en relación a las áreas libres generales o ejes hidrográficos. A su vez algunos otros referenciados desde una visión sistémica relacionados directamente con los espacios fluviales, no especifican o se plantean desde el criterio de la conectividad ecológica sino que se plantean a partir de la artificialización del territorio como es el caso del índice de naturalidad.

Como se ha dejado claro a lo largo del desarrollo de esta investigación, el interés u objetivo final de ésta se enfoca en el contexto urbano, es decir al interior de las tramas urbanas presentes en un territorio, por lo cual para el planteamiento que se pretende hacer en el capítulo 4, algunos de los indicadores aquí presentados, por lo expuesto anteriormente, simplemente quedaran como referencia conceptual, otros; como el caso de los referidos al régimen hidrológico, quedara como una referencia de aplicación directa, ya que no se pretende profundizar en este tema, mientras que otros servirán de base o referencia aplicada para la adaptación y planteamiento de unos indicadores que puedan valorar la realidad urbana de interés bajo el criterio de la conectividad ecológica.

En el siguiente cuadro se hace una diferenciación mas especifica de acuerdo con lo expuesto anteriormente:

Tabla 20. Cuadro de síntesis referencial con diferenciación por tipo de referencia .Elaboración propia

TEMA	INDICADORES	TIPO				COTEXTO DE APLICACIÓN SEGÚN REFERENCIA			AMBITO	
		simple	sinetico	cuantitativo	cualitativo	rural	suburbano	urbano /periurbano	macrosistémico territorio	microsistémico ciudad (componentes)
CONECTIVIDAD	Conectividad ecológica (ICE)									
	El índice de afectación de barreras (IAB)									
	El índice de fragmentación ecológica (IFE)									
ESPACIOS VERDES Y CONVERSIDAD	El índice biótico del suelo (ibs)									
	El índice de funcionalidad de parques urbanos (IFparques)									
	Conectividad de los corredores verdes urbanos (Ccorredores)									
HIDROMORFOLOGIA	EL RÉGIMEN HIDROLÓGICO									
	Régimen de caudales									
	Caudal ambiental							indiferente		
	LA CONTINUIDAD FLUVIAL									
	Índice de Conectividad Fluvial (ICF)									
	Geometría del canal fluvial									
	Variaciones en anchura y profundidad del canal fluvial									
	Tipo de valle fluvial									
	Las CONDICIONES MORFOLÓGICAS									
	Grado de alteración del canal fluvial (*)									
Naturalidad de los usos del suelo (**)										
Índice de Calidad del Bosque de Ribera – QBR (**)										
NATURALIDAD (índice de naturalidad de espacios fluviales)	Grado de artificialización del territorio (Art)									
	Grado de alteración geomorfológica del territorio									
	Grado de permeabilidad ecológica (Pe)									
	Grado de perturbación potencial del territorio (P)									
Estructura y sustrato del cauce y márgenes fluviales(*)								Estructura de la zona de ribera/análisis de la vegetación (**)		

  Áreas de interés investigación     
   Indicadores de Referencia conceptual     
   Indicadores referencia de aplicación directa     
   Indicadores base de referencia aplicada y/o de adaptación

### **3. CONTEXTUALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO Y SUS PRINCIPALES CONDICIONANTES NATURALES Y FISICO-ESPACIALES EN RELACIÓN AL SISTEMA HIDROGRÁFICO EN EL CONTEXTO URBANO**

En este capítulo se hace una aproximación contextual a las características del caso de estudio y su evolución a través de los años, enfocándose en los temas relacionados con la ocupación del territorio y su relación con el sistema hidrográfico. A su vez se hace una aproximación cualitativa al estado actual del sistema hidrográfico y sus componentes principales (quebradas) que lo conforman, identificando sus características comunes y diferencias dadas en el contexto urbano.

#### **3.1. LA CUENCA DEL RIO ABURRÁ**

##### **3.1.1. Localización y configuración de la cuenca del río Aburrá**

La cuenca del río Aburrá está localizada sobre la cordillera central, en el centro del departamento de Antioquia, en la región occidental de Colombia, haciendo parte de un sistema hidrográfico bastante complejo.

La cuenca tiene una topografía irregular y pendiente, con altitudes que oscilan entre los 1300 y los 2800 m.s.n.m. y está definida por el río Aburrá, el cual nace en el alto de san miguel en el municipio de caldas, atraviesa 12 municipios; de los 15 que se asientan de forma total o parcial en la cuenca, y finalmente se une al río grande en el sitio Puente Gabino, donde cambia de nombre a río Porce.

El cauce principal (río Aburrá) tiene una longitud aproximada de 100 Km y el área de la cuenca es de 1251 Km<sup>2</sup>.

En la cuenca del río Aburrá predomina el clima templado, y este presenta un régimen bi modal, con dos épocas lluviosas en el año, alrededor de los meses de abril y octubre. Dadas las características geomorfológicas de la zona y su nivel de pluviosidad, en la cuenca del río Aburrá son comunes las fuentes de agua superficial.

Desde su nacimiento en el alto de San Miguel a unos 2.700 m.s.n.m. , hasta que cambia de nombre, recibe las aguas de cerca de 200 afluentes directos y por intermedio de ellos de más de 352 quebradas. De esta manera se configura la Cuenca del Río Aburrá, también conocido como río Medellín.

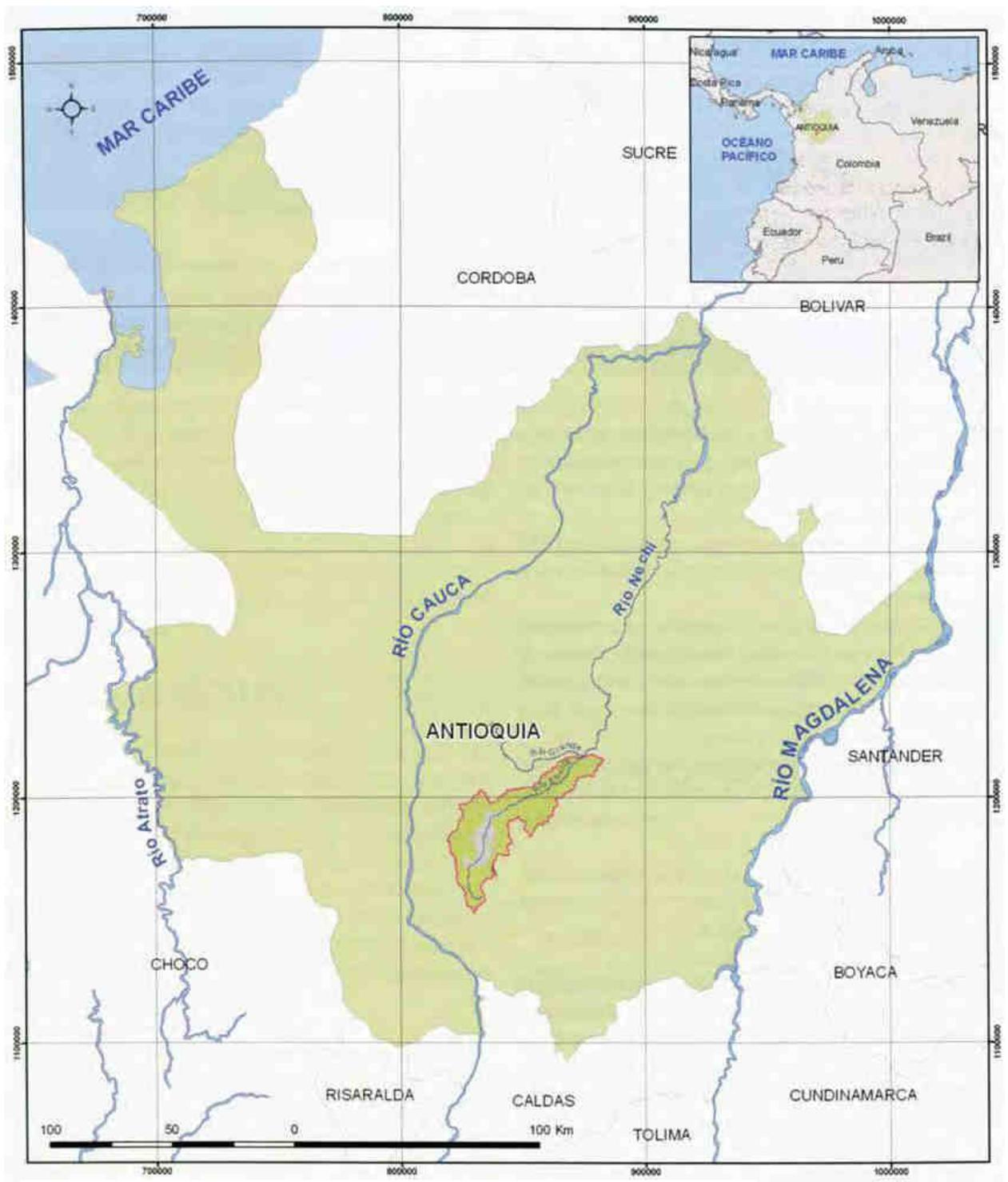


Figura 28. Localización de la región de la cuenca del río Aburrá. Fuente: POMCA 2007

Base metodológica para una aproximación hidromorfológica al estado de la conectividad ecológica en los ejes de un sistema hidrográfico e infraestructuras que lo configuran en el contexto urbano

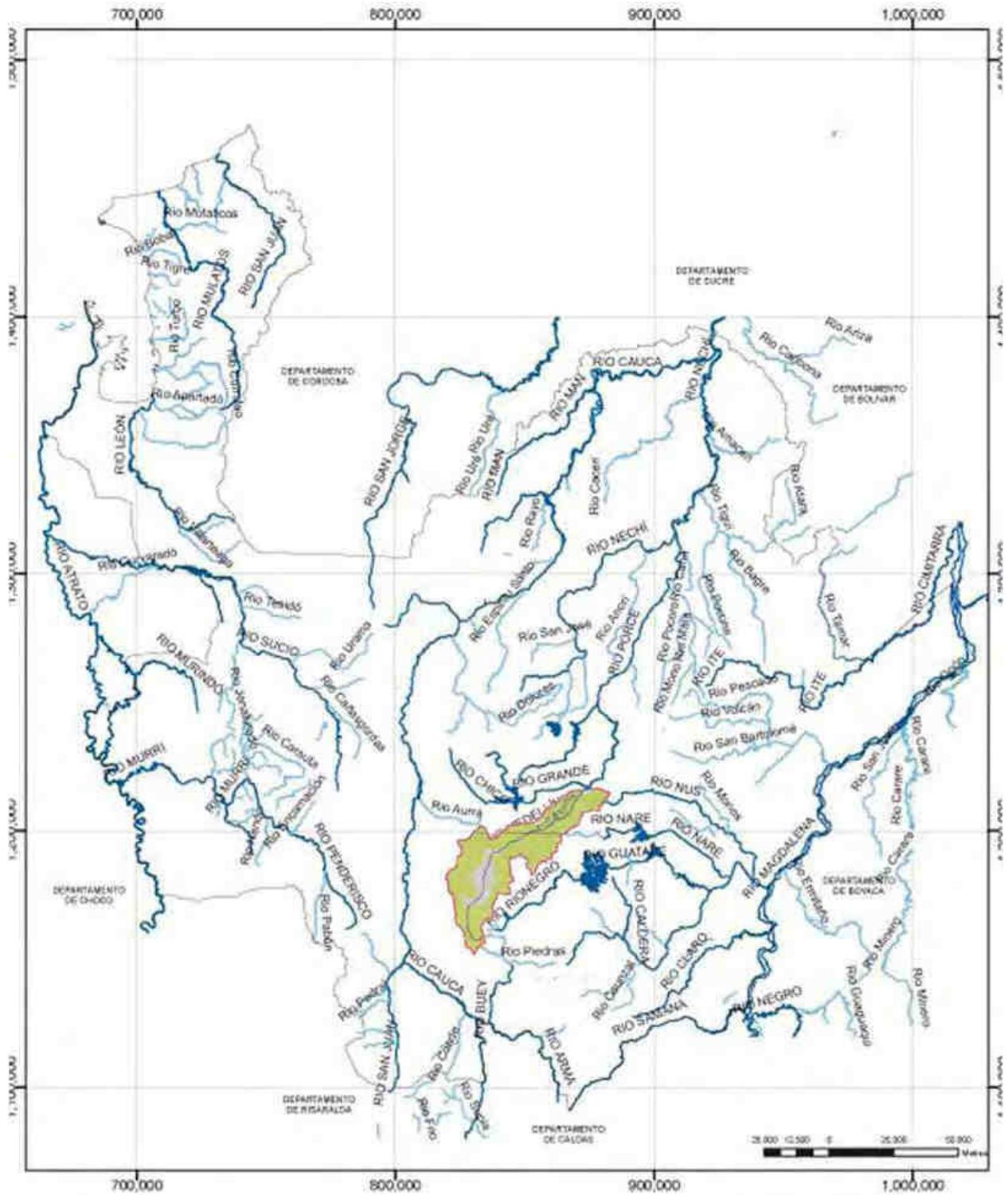


Figura 29. Localización del área a analizar sobre Mapa hidrográfico del departamento de Antioquia. Fuente: Gobernación de Antioquia.

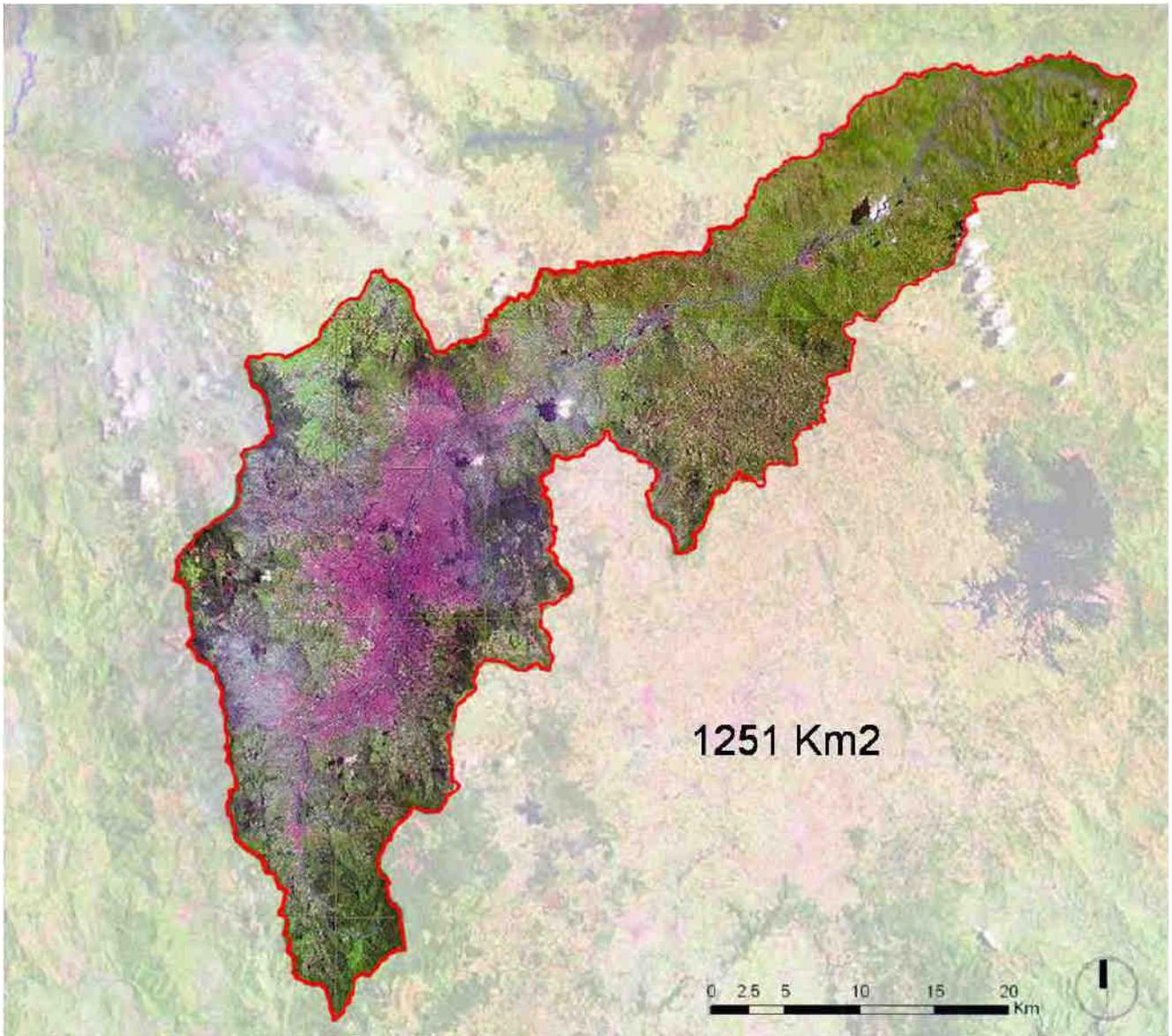


Figura 30. Delimitación área de la cuenca del río Aburrá. Elaboración propia a partir del POMCA 2007.

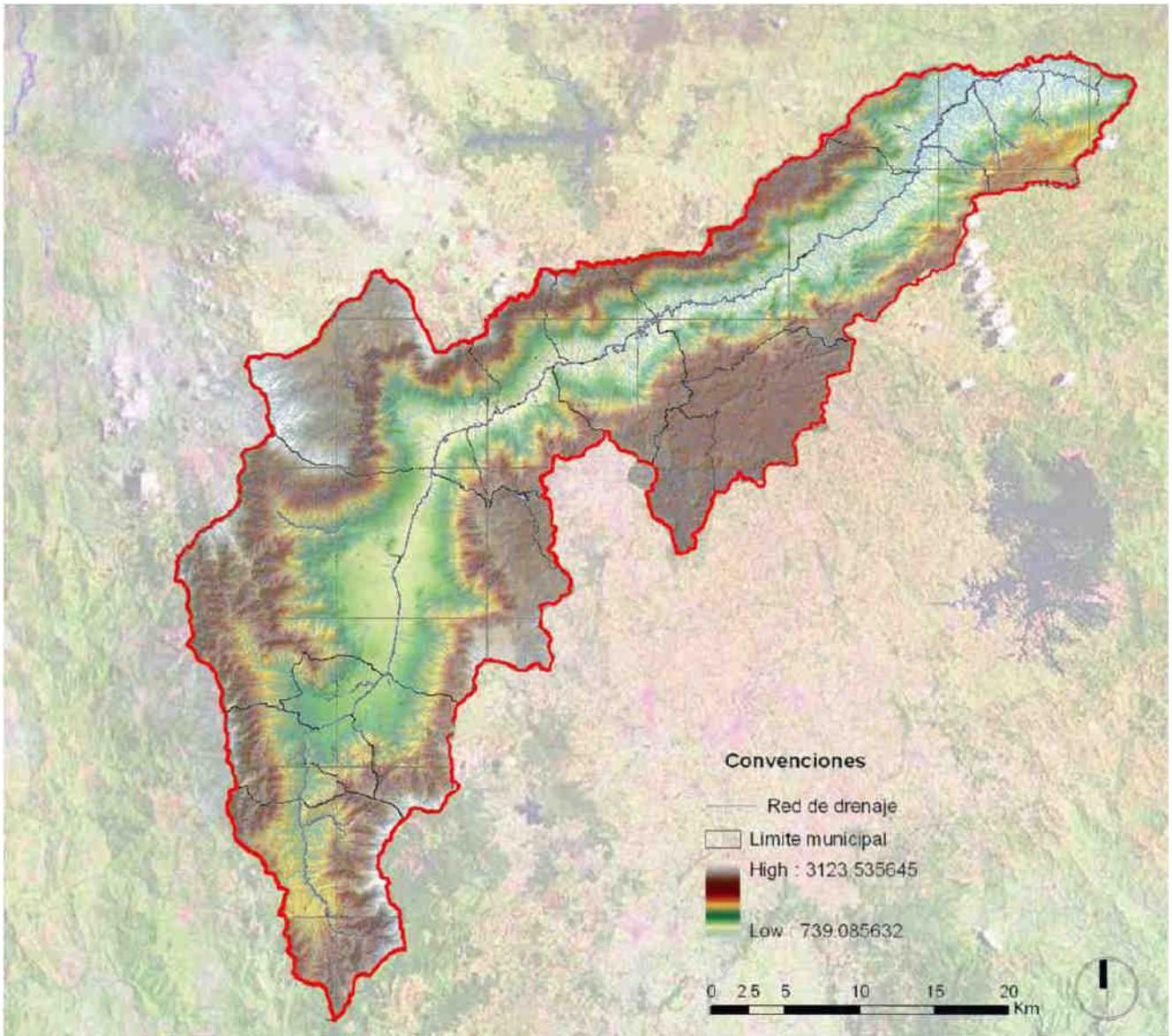


Figura 31. Topografía y Red de drenaje de la cuenca del río Aburrá. Elaboración propia a partir de modelo hecho por el POMCA 2007.

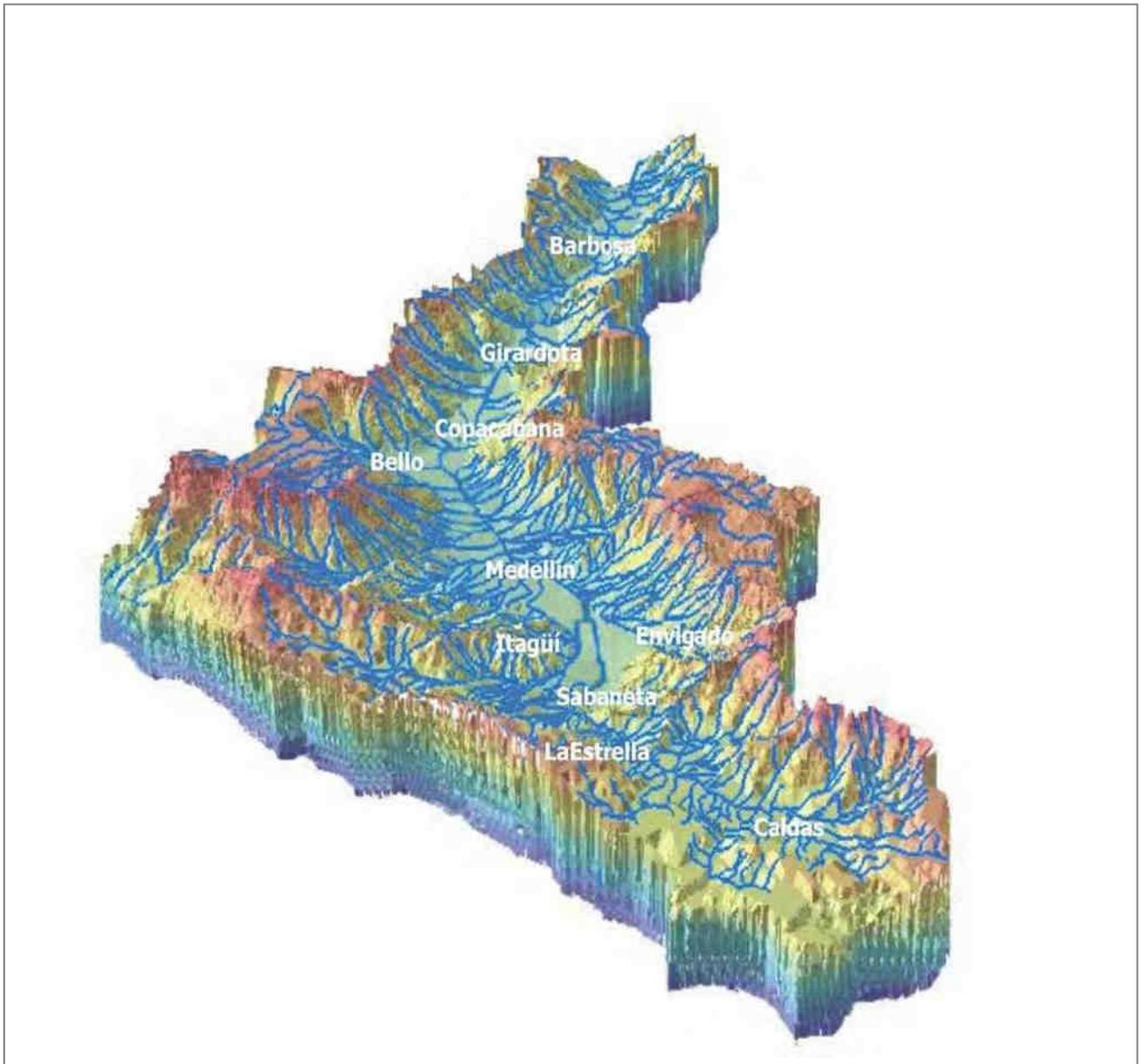


Figura 32. Topografía y Red de drenaje de la cuenca del río Aburrá. Fuente: Área Metropolitana del valle de Aburrá.2009

### 3.1.2. Medellín y el área metropolitana

Medellín y su área metropolitana conforman en la actualidad el segundo asentamiento urbano más grande dentro del territorio colombiano. Compuesto por 10 municipios asentados dentro de la cuenca del río Aburrá.

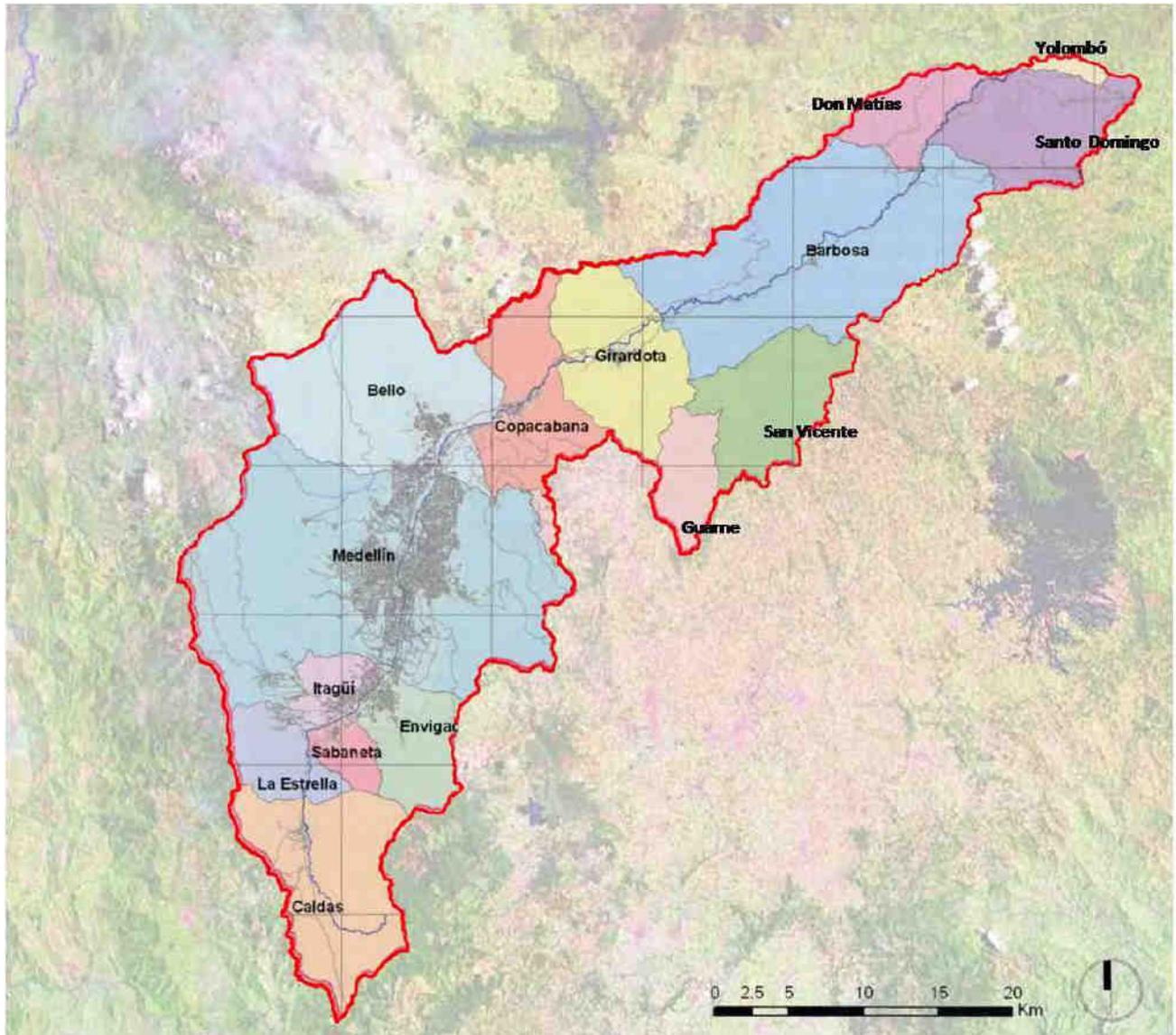


Figura 33. Municipios presentes en la cuenca del río Aburrá. Elaboración propia, a partir de mapa del POMCA 2007.

### 3.1.2.1. Reseña histórica

*“El valle de aburra , que había permanecido al margen de las primeras fundaciones españolas en la provincia de Antioquia, atrajo la atención del gobernador de esta, don Gaspar de Rodas, a mediados del siglo XVI, cuando aquel: solicitó al concejo de la villa de santa fe de Antioquia una concesión de tres leguas (equivalente a trescientas cuerdas o fanegadas) cuadradas de tierra en el valle , al norte del antiguo pueblo de los aburraes, cuatro años después 1551, cuando la facción de Pedroso visito el valle , este se hallaba aun ocupado solamente por indios”.<sup>41</sup>*

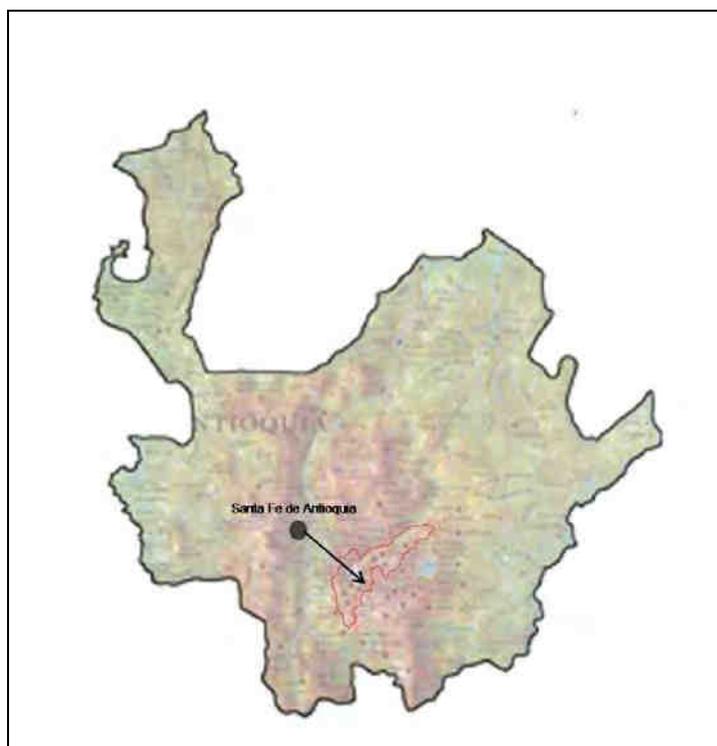


Figura 34. Desplazamiento a la cuenca del río Aburrá 1551. Elaboración propia.

A partir de esto otros ricos propietarios y comerciantes de santa fe de Antioquia; la entonces capital de la provincia de Antioquia, siguieron el ejemplo, conformando haciendas de ganado para proveer de carne a las poblaciones mineras que comenzaban a trasladarse hacia el norte y el oriente de la provincia.

*“El tamaño del valle de aburra y sus condiciones resultaban excepcionales en una región tan montañosa como Antioquia, y muy favorables para permitir un gran asentamiento de población (Fabio botero, lo que cuentan). En efecto la excelente provisión de agua , el clima y la altura permitían dos cosechas de maíz y de frijol al año, una mayor variedad de productos alimenticios y un buen aprovechamiento del pasto en la explotación agropecuaria que permitía ,adicionalmente, abastecer el norte minero por la ruta del rio Porce. Además el clima templado, mas agradable para la vida en relación con el mas frio del oriente cercano y el torrido y malsano de las regiones del cauca, y la provisión al alcance de la mano de madera y materiales para la construcción, tales como piedra y arcilla, fueron creando junto con otras condiciones favorables, una importante concentración demográfica en el valle, a partir de la segunda mitad del siglo XVII”.<sup>42</sup>*

<sup>41</sup> James Parsons, p.23. citado por BOTERO HERRERA, Fernando. **Medellín 1890-1950 Historia urbana y juego de intereses**. 1996. p.5

<sup>42</sup> BOTERO HERRERA, Fernando. **Medellín 1890-1950 Historia urbana y juego de intereses**. 1996. p.21-22

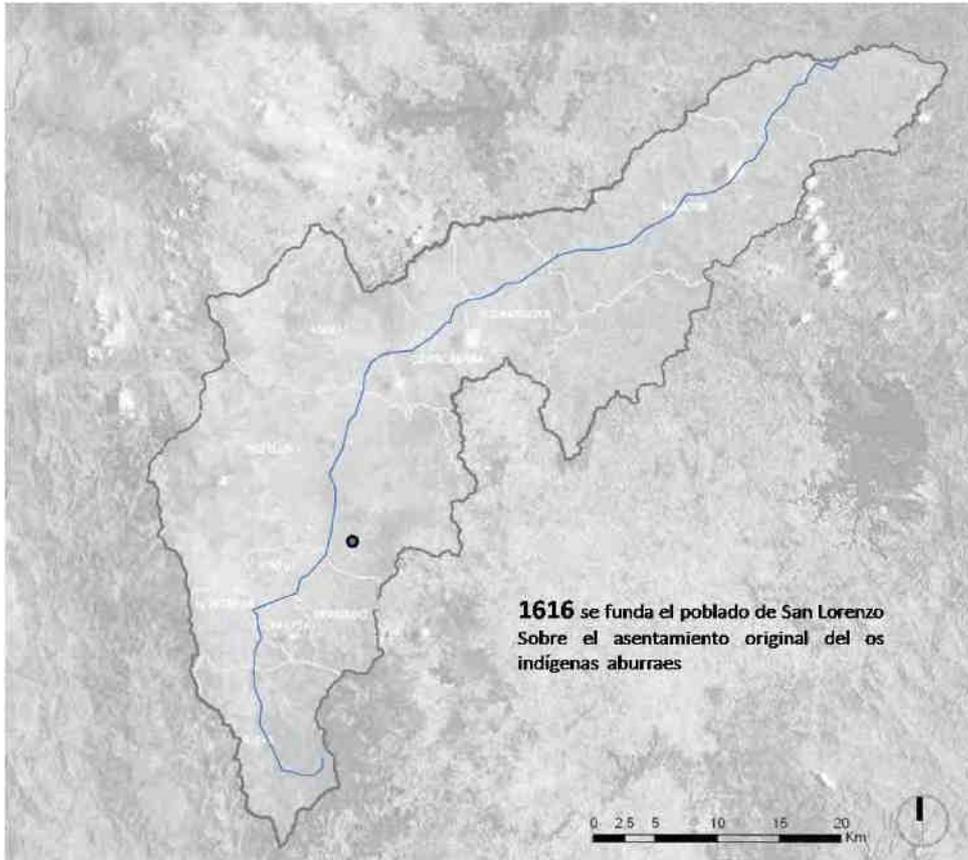
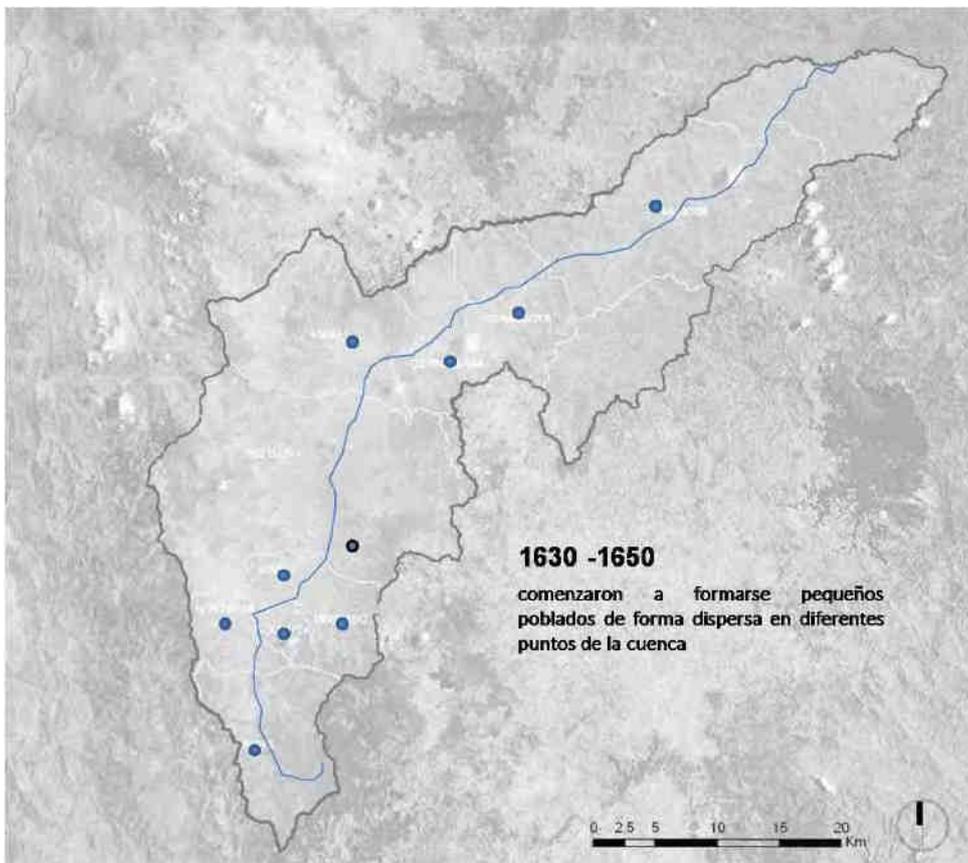


Figura 35 - 36. Ocupación de la cuenca del río Aburrá 1616, 1630-1650. Elaboración propia.



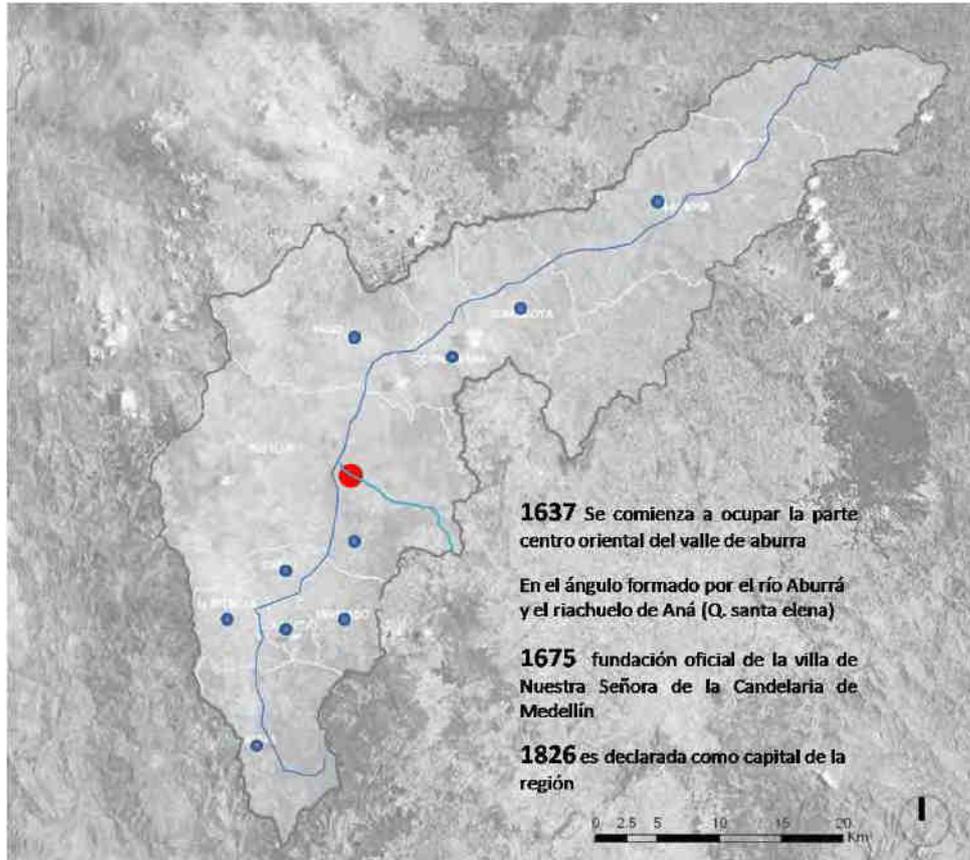


Figura 37. Ocupación de la cuenca del río Aburrá 1637-1826. Elaboración propia.

### 3.1.3. Crecimiento urbano y sus principales problemáticas

Junto con la fundación de la villa hacia 1675, que básicamente ocupaba la parte centro oriental del valle de Aburrá siendo su núcleo o centro principal, se habían comenzado a formar ya otros pequeños poblados de forma dispersa en diferentes puntos de la cuenca.

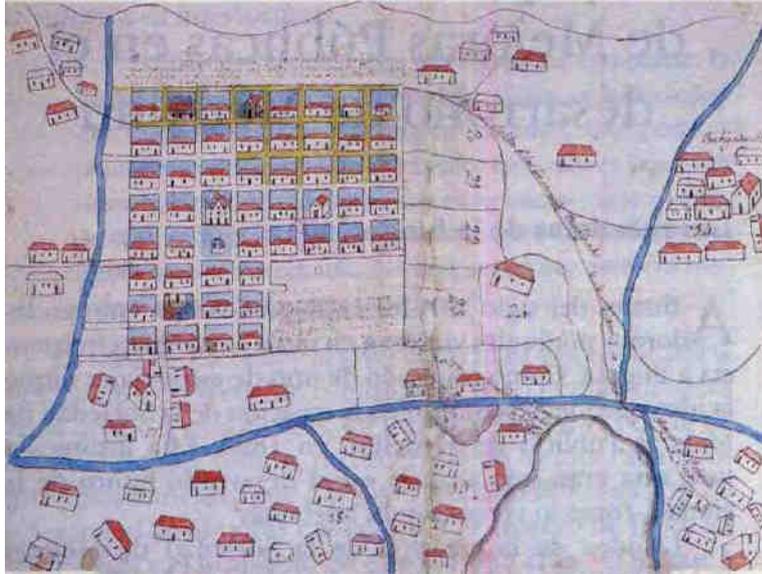


Figura 38. Mapa de la villa de Medellín. José María Giraldo (maestro pintor) 1790. Fuente: Medellín 1890-1950 historia urbana y juego de intereses.

Hacia 1826, después de la independencia española, la importancia de las dinámicas comerciales, las posibilidades del territorio, y el crecimiento poblacional hizo que esta fuera declarada como capital de la región.

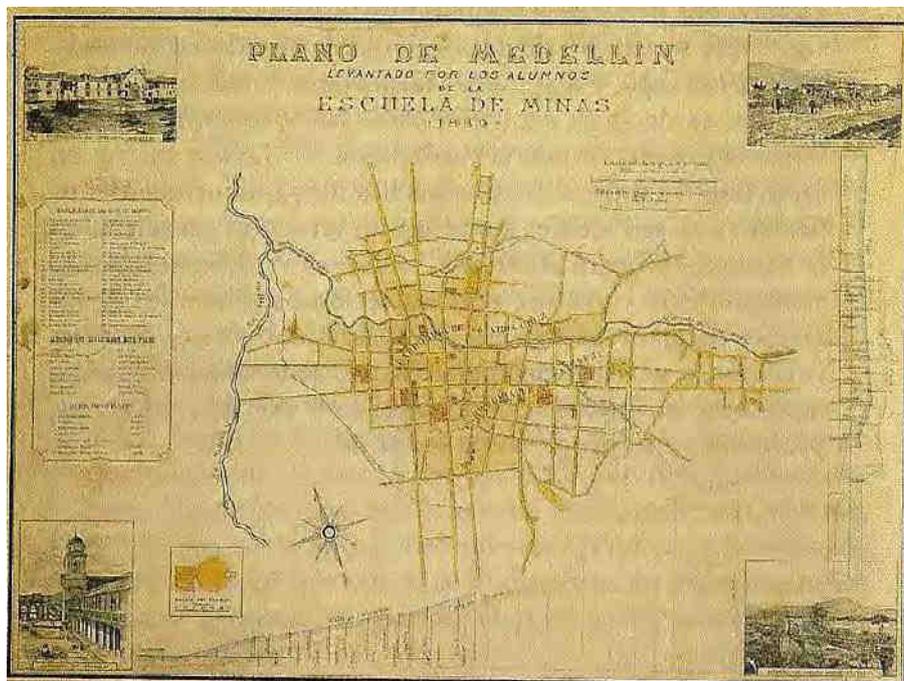


Figura 39. Plano de Medellín levantado por alumnos de la escuela de minas 1889. Fuente: Medellín 1890-1950 historia urbana y juego de intereses.

En tanto los procesos de la industrialización presentados desde finales del siglo XIX y durante la primera mitad del siglo XX, potencializaron la evolución y crecimiento de la ciudad, convirtiéndola en la principal área urbana industrial del país.

Sumado a esto, otros procesos socioculturales complicados; como han sido los desplazamientos por el problema de la violencia en el campo, que han configurado grandes áreas de asentamientos irregulares, y de forma muy contundente la alteración del sistema natural del río Aburrá (río Medellín) han sido factores determinantes en la conformación de lo que hoy se conoce como el área metropolitana del valle de Aburrá.

### 3.1.3.1. Modificación del río y la quebrada Santa Elena

Sin duda dos de los ejemplos determinantes en estas alteraciones al sistema natural en relación con el recurso hídrico y el paisaje del agua del territorio dentro de la cuenca del río Aburrá en el proceso de crecimiento urbano, han sido la intervención sobre el eje del río Aburrá (río Medellín) y la cobertura de la quebrada Santa Elena; una de las principales afluentes de la cuenca.

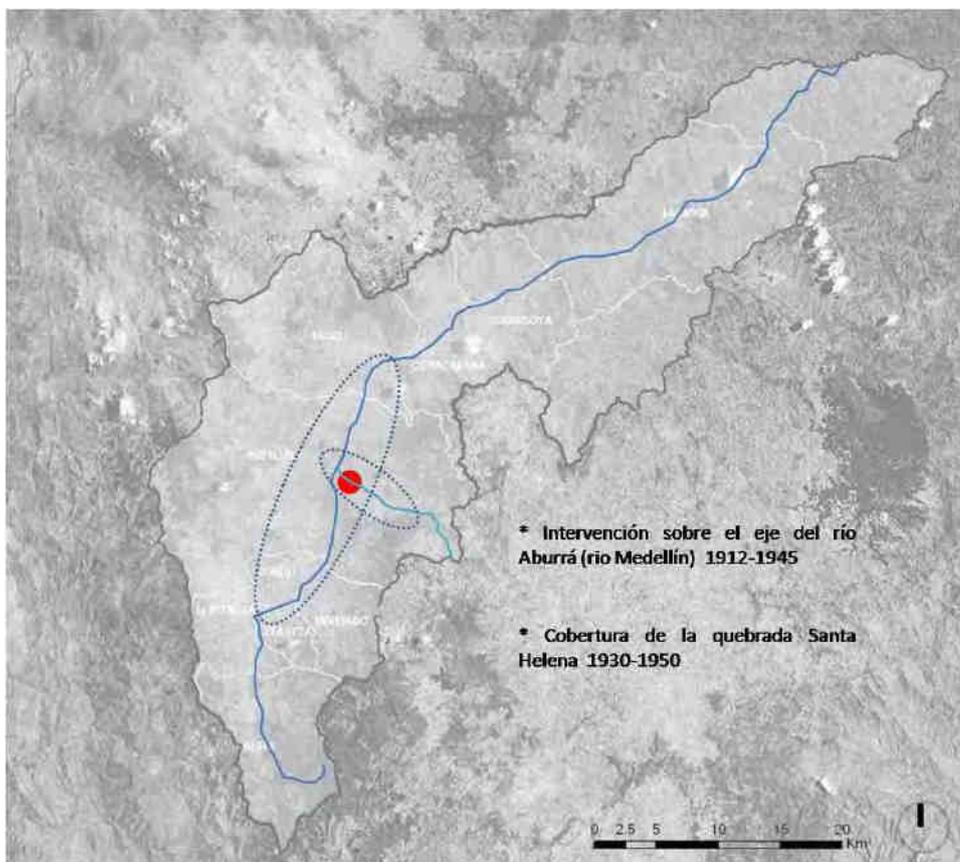
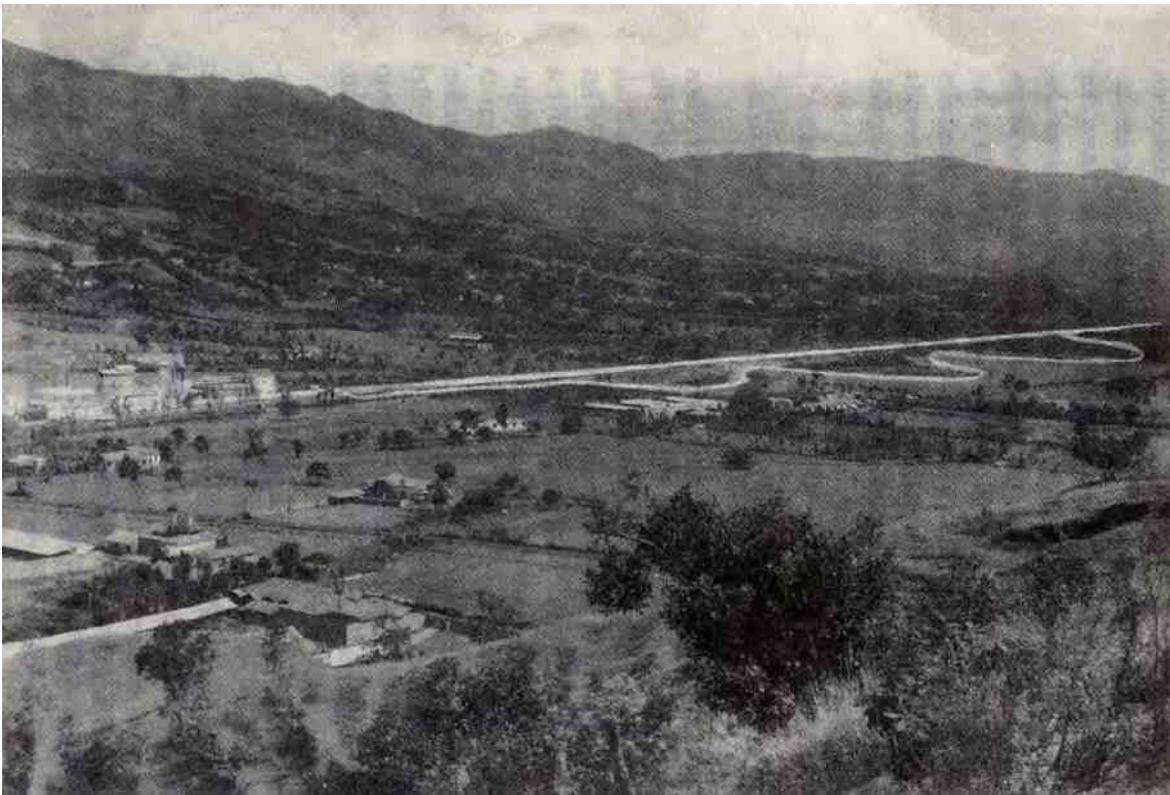


Figura 40. Ocupación de la cuenca del río Aburrá 1637-1826. Elaboración propia.

*“El problema de las crecientes del río Medellín y las modificaciones a su cauce se presentaban desde la colonia, hacia 1912 el concejo de la ciudad se ocupó del asunto y combino trabajar en tres temas:*

- 1. la defensa de la ciudad.*
- 2. la rectificación del río.*
- 3. la canalización del cauce modificado.*

*“No hay lugar a dudas sobre la importancia y el impacto físico que trajo consigo la obra de rectificación y canalización del río Medellín. Esta permitió habilitar una gran área de tierra tradicionalmente insalubre y anegadiza, en momentos en que el crecimiento demográfico y el dinamismo urbano requerían espacio, y la ciudad se hallaba circunscrita a lo que hoy se denomina su cuadrante nororiental o viejo Medellín”.<sup>43</sup>*



**Figura 41.** Rectificación del río Medellín (Aburrá) en el sector del poblado. El fotógrafo marco el antiguo recorrido del río. Foto, Francisco Mejía (1941-1945). Fuente: Medellín 1890-1950 historia urbana y juego de intereses.

---

<sup>43</sup> *Ibíd.* p.149-151

*“A pesar de que este sector bañado por la quebrada –el paseo de la ciudad- era, y sigue siendo en nuestros días, de los más centrales y concurridos, y en donde desde finales del siglo XIX se constituyó el barrio más elegante de Medellín y se construyeron varias mansiones tipo casaquintas con antejardines y arquitectura imponente, con el tiempo la quebrada-como sucedió luego con el río-se fue convirtiendo en una gran alcantarilla o cloaca urbana. a medida que este problema se fue agravando y que el tráfico fue congestionando cada vez más las angostas calles de entonces, las presiones para canalizarla se hicieron más fuertes, aunque algunas voces influyentes como la de Olano, y otras autorizadas, como la del urbanista Brunner, no eran partidarias de esta solución”.*<sup>44</sup>



**Figura 42.** Quebrada Santa Elena 1910. Foto, Escobar. Fuente: Medellín 1890-1950 historia urbana y juego de intereses.

**Figura 43.** Cobertura Quebrada Santa Elena. Foto, Francisco Mejía, 1941. Fuente: Medellín 1890-1950 historia urbana y juego de intereses.



---

<sup>44</sup> *Ibíd.* p.144

### 3.1.3.2. Crecimiento urbano y población en la cuenca del río Aburrá.

El crecimiento de la ciudad y su área metropolitana, dado en diferentes periodos desde su fundación, llevaron hacia 1970 a un primer nivel de conurbación entre Medellín y varios de los municipios del área. A partir de este periodo se han dado otros periodos de crecimiento siendo el comprendido entre 1985 y 1998 el de mayor crecimiento, caracterizado por la ocupación dispersa de los bordes de las laderas de alta pendiente, y las segundas residencias en algunas áreas suburbanas. Como se evidencia en el siguiente cuadro en los últimos 60 años ha habido un incremento aproximado del 653% de la población y un incremento en la ocupación del territorio de 774%, periodo en el cual el sistema hidrográfico de la cuenca ha quedado altamente comprometido.

Periodo	Población				* Área de Ocupación			
	Año	Habitantes	Incremento/hab	Tasa de crecimiento%	Año	Área/has	Incremento/ha	Tasa de área ocupada ** %
1951-1964	1951	499.756	584.904	6,1	Antes de 1948	2.222	3.143	18,3
	1964	1.084.660			1963	5.365		
1964 - 1973	1964	1.084.660	433.284	3,8	1963	5.365	3.468	20,1
	1973	1.517.944			1970	8.833		
1973 - 1980	1973	1.517.944	540.415	4,5	1970	8.833	1.770	10,3
	1980	2.058.359			1980	10.603		
1980 - 1985	1980	2.058.359	62.815	0,6	1980	10.603	764	4,4
	1985	2.121.174			1985	11.367		
1985 - 1998	1985	2.121.174	857.249	2,7	1985	11.367	4.724	27,4
	1993	2.978.423			1998	16.091		
1998 - 2005	1998	2.978.423	288.213	1,3	1998	16.091	1.123	6,5
	2005	3.266.636			2005	17.214		

\* No se discrimina entre ocupación formal e informal del Área Metropolitana por la falta de disponibilidad de datos de los demás municipios.  
 \*\* La tasa de área ocupada por periodos se calculó con relación al área total ocupada al año 2005.

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2005a.

Tabla 21. Población vs. Ocupación

Sin embargo en parte, *“La evaluación del indicador de ruralidad muestra en cierta medida las potencialidades de la cuenca por la existencia de áreas rurales menos intervenidas, con alternativas de desarrollo sostenible”*. (POMCA 2007)

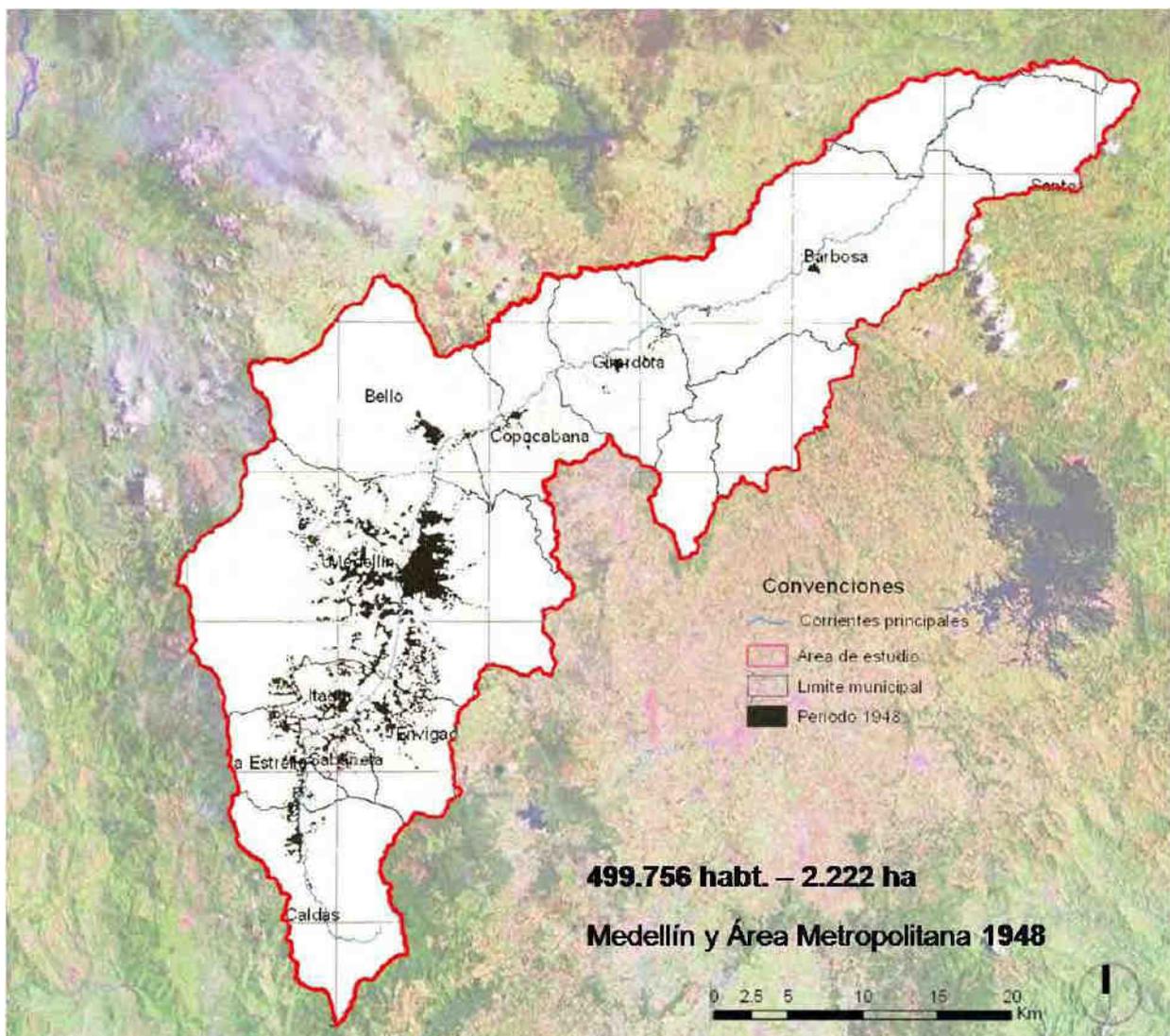
*“Hoy en la cuenca la expansión urbana ha conllevado al asentamiento de todo tipo de usos donde se mezcla lo agrícola, recreativo, de conservación, entre otros, especialmente en zonas con cercanía a la ciudad”*. (POMCA 2007)

Uno de los principales aspectos en el crecimiento de la población dentro de la cuenca ha sido en gran medida la migración, o fenómeno del desplazamiento, referido a familias que habitaban en la ruralidad y que por diferentes motivos, especialmente los referidos a la problemática de violencia en los campos, han decidido migrar hacia las capitales, en este caso a Medellín y su área metropolitana.

Este problema ha incrementado los cinturones de miseria social, potencializando la pobreza, el desempleo, la baja productividad y el hacinamiento en áreas bastante complejas como son los ejes de quebradas, comprometiendo la calidad de vida de estas personas, y un aumento en la demanda de los servicios básicos. Dentro del territorio de la cuenca los municipios de Medellín y Bello son los que mayor cantidad de desplazados han recibido en los últimos años.

*En el municipio de Medellín, la constante inmigración ha conllevado un número significativo de asentamientos en zonas de alto riesgo o en zonas de amortiguamiento de áreas de reserva como en el caso del parque Arví, en límites con la comuna 8. En otros casos, es tal su magnitud que ha dado lugar al poblamiento de nuevos barrios que inciden en la morfología de la ciudad. (POMCA 2007)*

Según datos del POMCA respecto a los movimientos de población por municipios se registra un total de 21.517 hogares y 88.761 personas recibidas y 2.189 hogares y 11.676 personas expulsadas, mostrando un aumento alrededor de 79.000 personas en el periodo (2000-2006)



**Figura 44.** Proceso de ocupación del suelo y población del valle de Aburrá 1948. Elaboración propia, a partir de plano del POMCA 2007 con datos de la UPB y el Área Metropolitana, y la Universidad Nacional 2005.

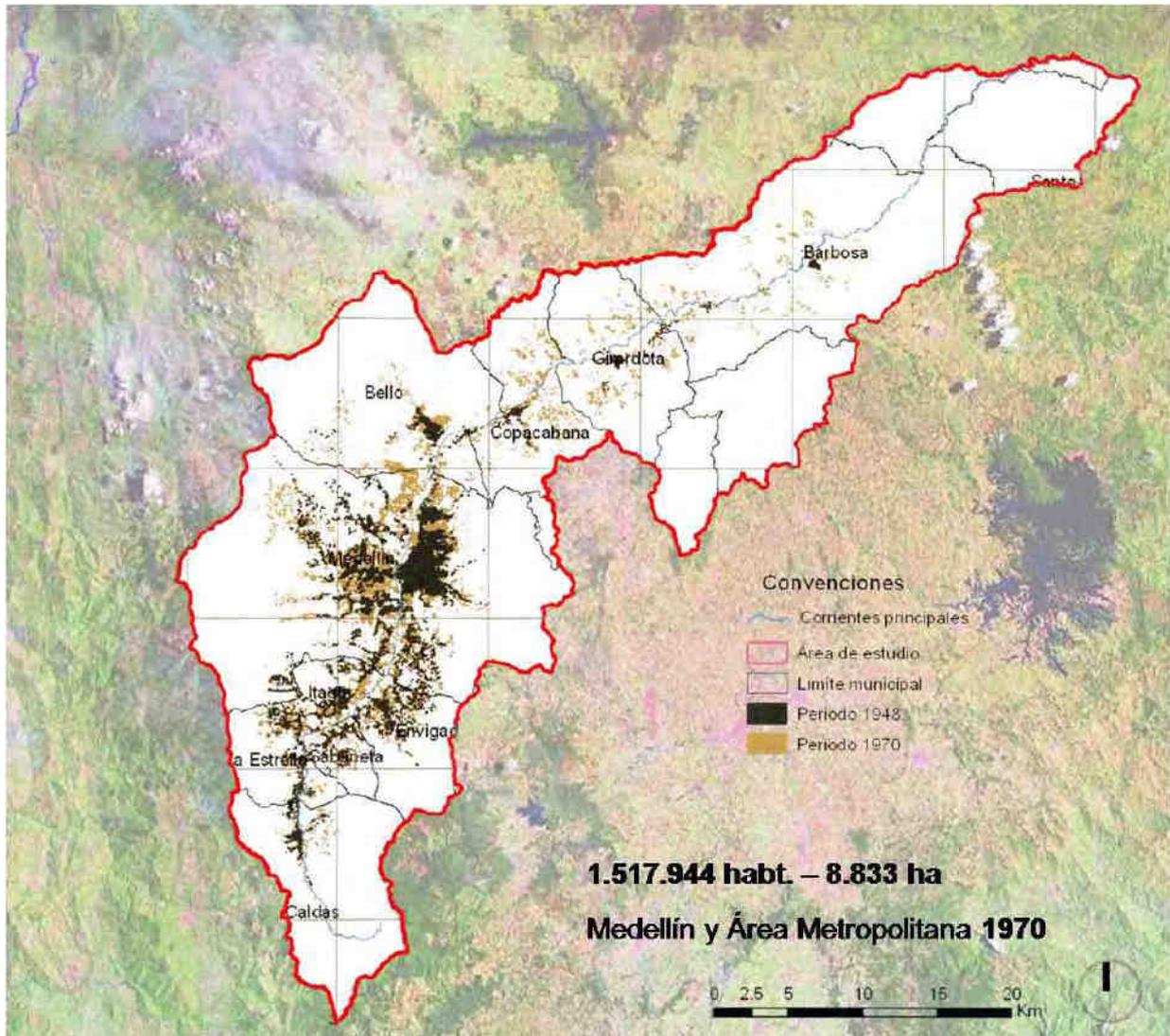
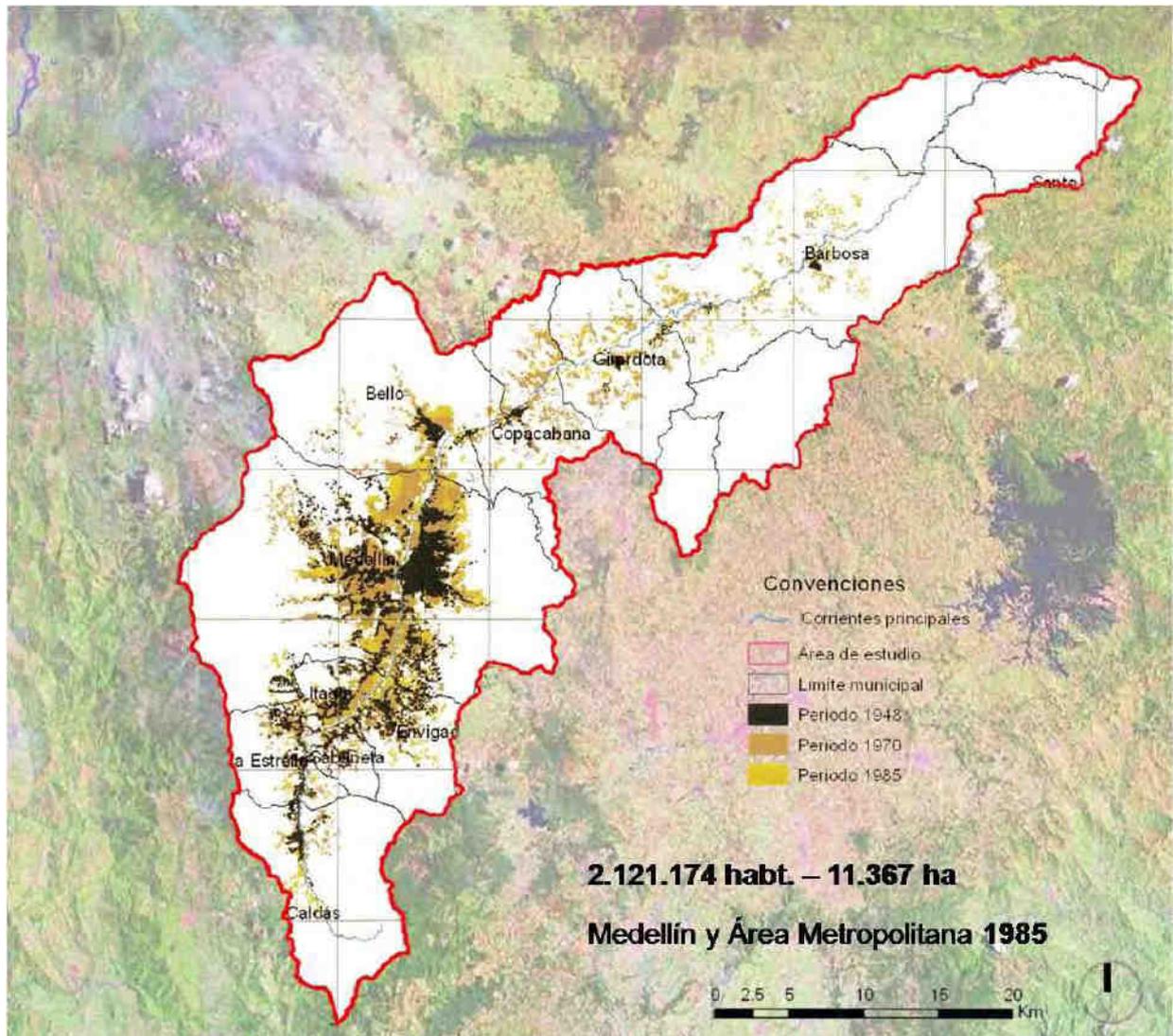
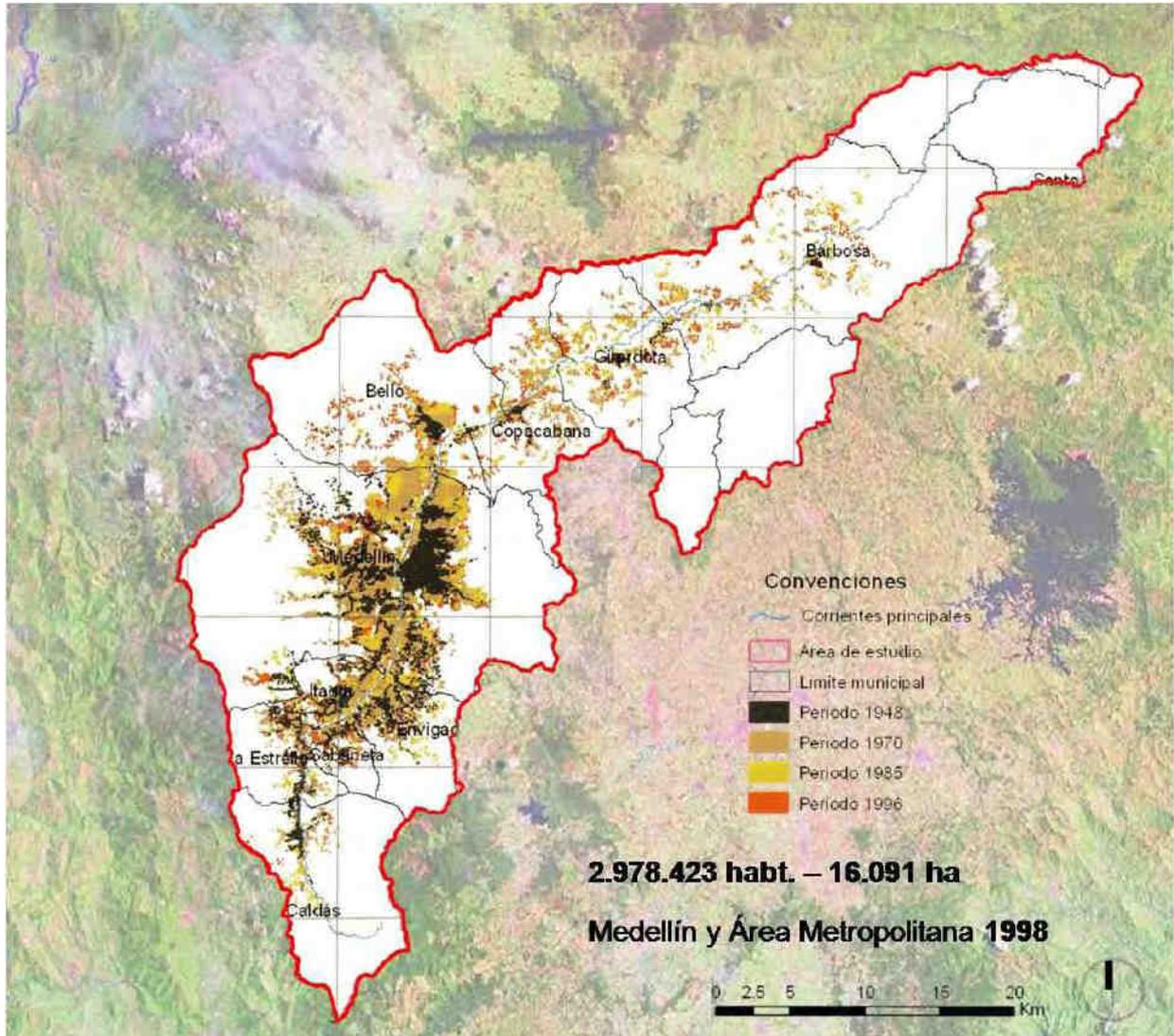


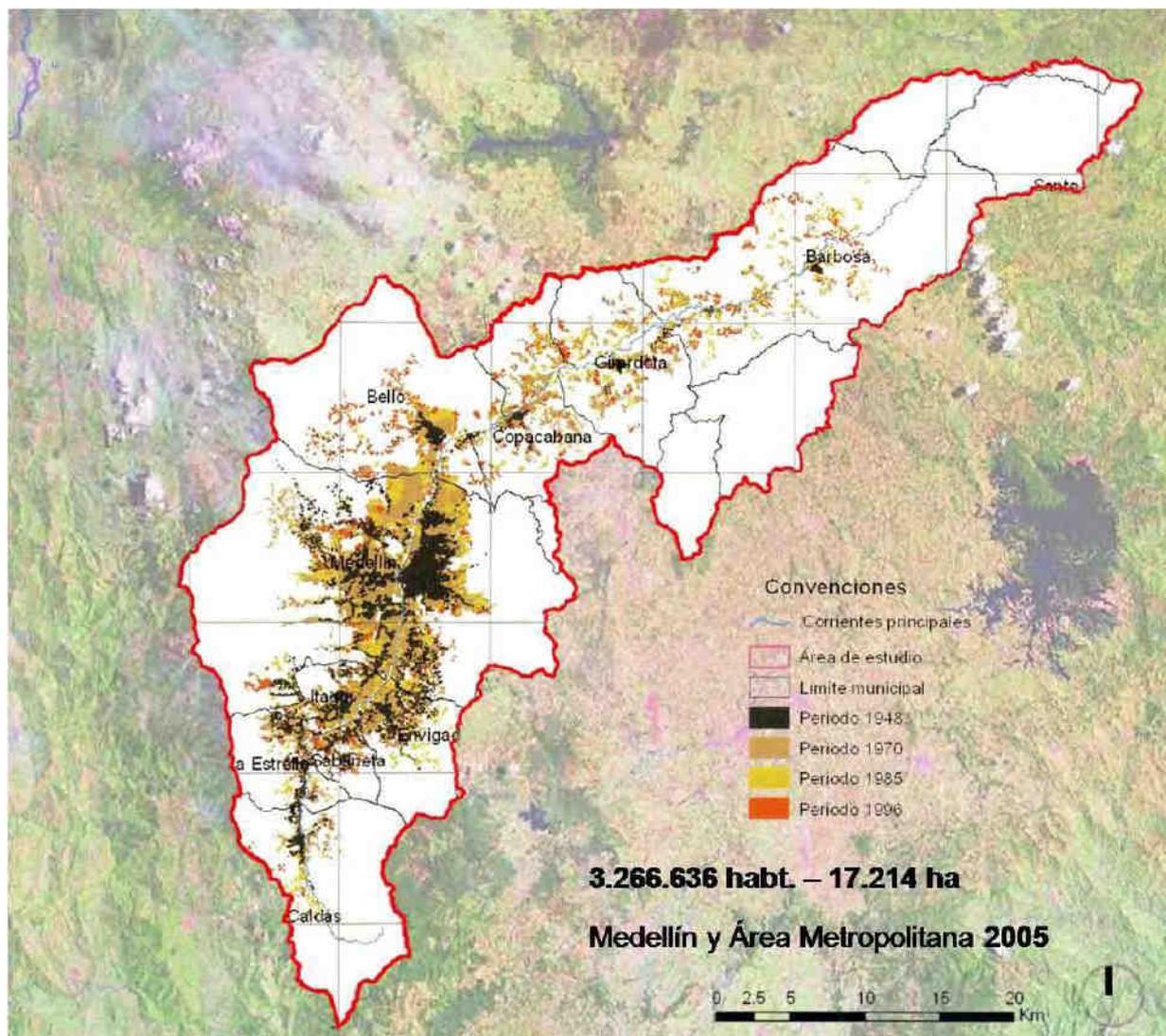
Figura 45. Proceso de ocupación del suelo y población del valle de Aburrá 1970. Elaboración propia, a partir del plano del POMCA 2007 con datos de la UPB y el Área Metropolitana, y la Universidad Nacional 2005.



**Figura 46.** Proceso de ocupación del suelo y población del valle de Aburrá 1985. Elaboración propia, a partir de plano del POMCA 2007 con datos de la UPB y el Área Metropolitana, y la Universidad Nacional 2005.



**Figura 47.** Proceso de ocupación del suelo y población del valle de Aburrá 1998. Elaboración propia, a partir de plano del POMCA 2007 con datos de la UPB y el Área Metropolitana, y la Universidad Nacional 2005.



**Figura 48.** Proceso de ocupación del suelo y población del valle de Aburrá 2005. Elaboración propia, a partir de plano del POMCA 2007 con datos de la UPB y el Área Metropolitana, y la Universidad Nacional 2005.

### 3.1.3.3. Fragmentación del sistema natural base

*“La forma de ocupación territorial desarrollada en el valle de aburra históricamente ha respondido de manera inadecuada a sus condiciones geográficas, destacándose, por un lado, la creciente presión hacia la urbanización de las laderas, las cuales presentan limitaciones desde el punto de vista geotécnico y ambiental, y por otro, la generalizada canalización de corrientes de agua localizadas en suelo urbano, con la consecuente contaminación de la cuenca entera Aburrá-Porce-nechí”.*<sup>45</sup>



Figura 49. Fotografía de Medellín 2009. Propia

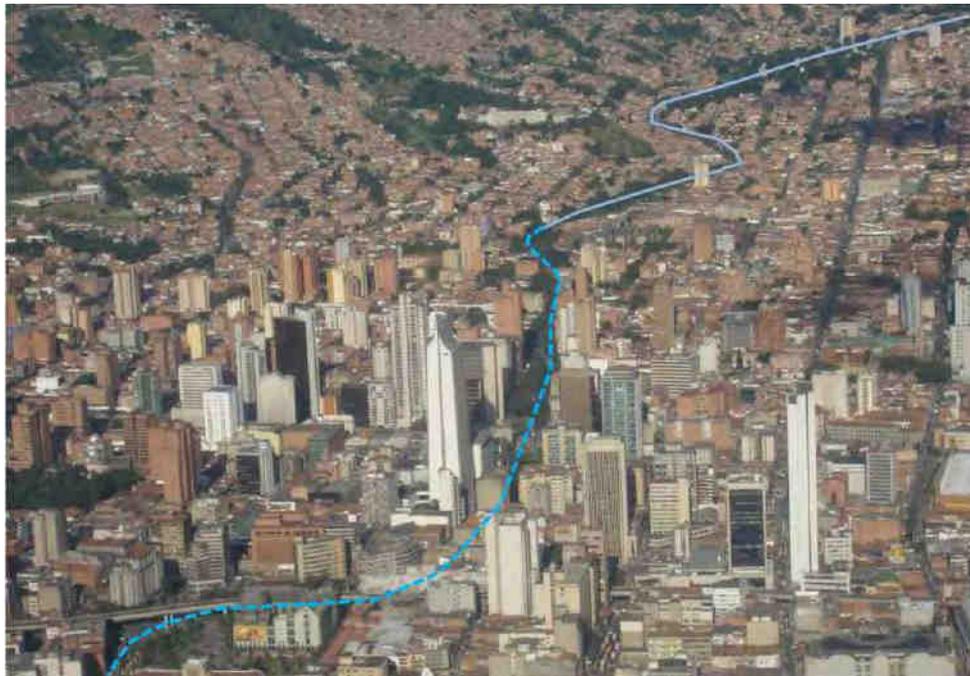


Figura 50. Foto del Centro de Medellín, intervención propia con recorrido de la quebrada Santa Elena. Fuente: Google

<sup>45</sup> Universidad Nacional Colombia, 2005. En POMCA. 2007. p.154



## 3.2. DINAMICAS DE PLANEAMIENTO E INTERVENCIÓN HACIA EJES DE QUEBRADA EN MEDELLÍN EN RELACIÓN CON LA CONECTIVIDAD

### 3.2.1. Antecedente



Figura 52. Plano de proceso del Plan piloto para Medellín 1951. Wiener y Sert

Ya desde mediados del siglo XX en el proceso del plan piloto para Medellín planteado por los urbanistas Wiener y Sert, hubo un reconocimiento de los valores del sistema natural base partiendo de los corredores verdes configurados por las quebradas que conforman el sistema hidrográfico de la ciudad, planteándose estos como articuladores de los núcleos urbanos a crear dentro de la trama urbana de la ciudad.

Aunque por su contexto y temporalidad esta no dejaba de ser una propuesta a partir de una visión meramente urbana, marcaba una base para un desarrollo más equilibrado en relación con los ejes hidrográficos, planteando implícitamente el tema de la conectividad ecológica en el contexto urbano, sin embargo, el mismo plan en su propuesta final, y su aplicación durante los años siguientes a su planteamiento, dio mucha más importancia a otros aspectos dentro del desarrollo urbano de la ciudad.

### 3.2.2. Red ecológica urbana y Parques lineales de quebrada

*“Los retiros de las principales quebradas de la ciudad y de los Parques Lineales hacen parte de una red ecosistémica compuesta por el cinturón verde que propone el Parque Central de Antioquia como borde y transición entre lo rural y lo urbano y el eje estructurante que es el río Medellín. Esta red es enriquecida por los distintos cerros y zonas verdes que mejoran las condiciones ambientales de la ciudad y que aparecen como enlaces transversales de conexión”<sup>46</sup>.*

<sup>46</sup> Proyecto de parques lineales EDU 2009

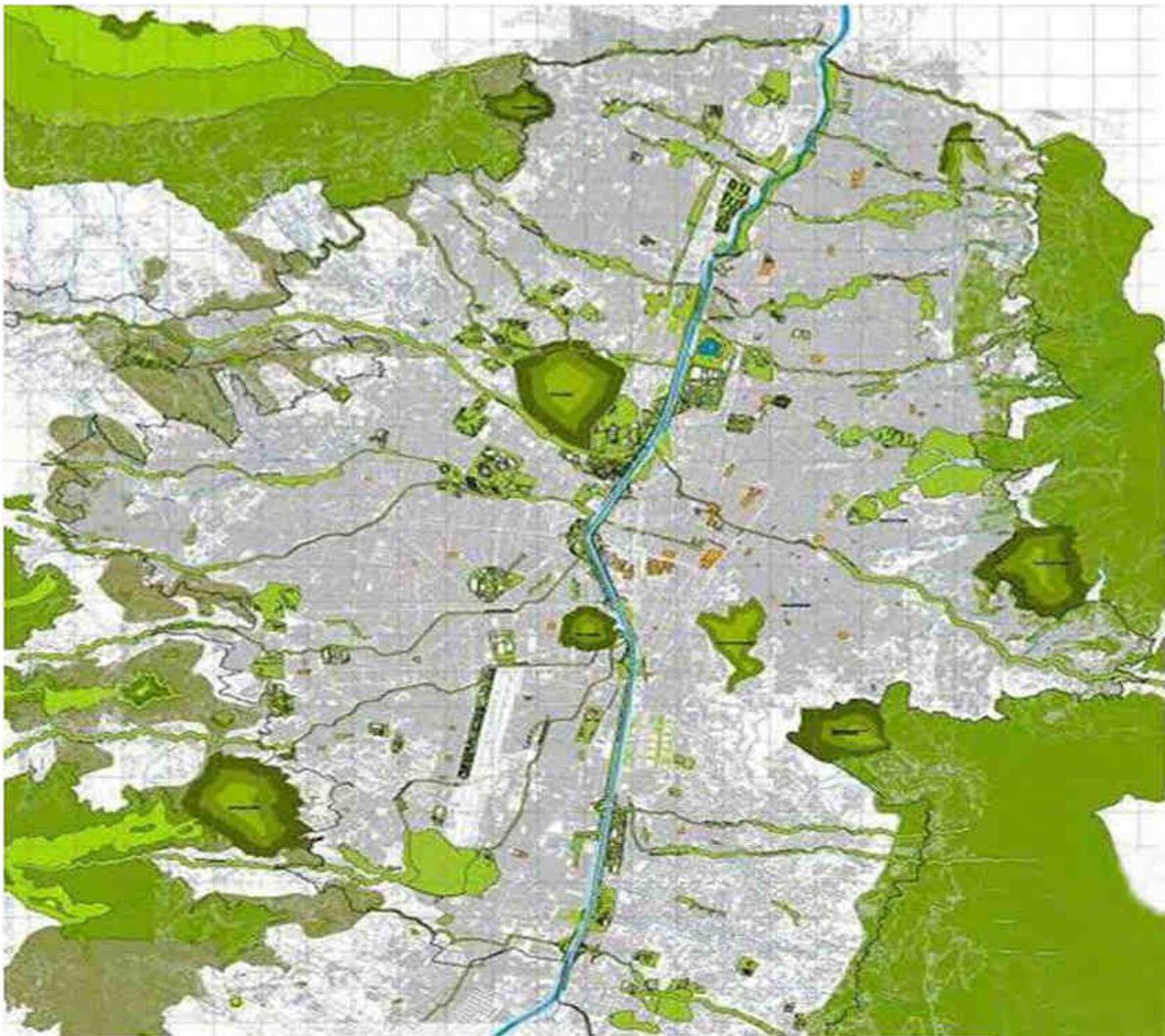


Figura 53. Parques y zonas verdes de Medellín. Fuente: Parques lineales EDU- Plan Especial de Espacio Público y Equipamientos para Medellín.

En la actualidad, sin embargo, más allá de una visión idílica, y de acuerdo con lo expresado en el subcapítulo anterior, la alta modificación de los cursos de agua, las intervenciones antrópicas desligadas de una visión ecológica y las grandes problemáticas socioculturales han hecho de estos ejes componentes generalmente desarticulados dentro de la configuración de una red ecológica urbana.

Proyectos como los de parques lineales de quebrada, planteados desde la administración local, han comenzado en parte a plantear alternativas que permitan configurar algunos de estos ejes como espacios de encuentro para las comunidades, mejorando a su vez parte de las condiciones ambientales de estas áreas.

Por lo anterior y de acuerdo con las perspectivas futuras de esta investigación, en relación con posibilitar estrategias de intervención más sostenibles hacia los ejes de quebrada bajo el criterio de la conectividad ecológica, se hace una aproximación básica a las dinámicas de intervención que se están dando hacia los ejes de quebrada de la ciudad.

En la actualidad se han ejecutado o se encuentran en proceso de ejecución cuatro parques lineales:

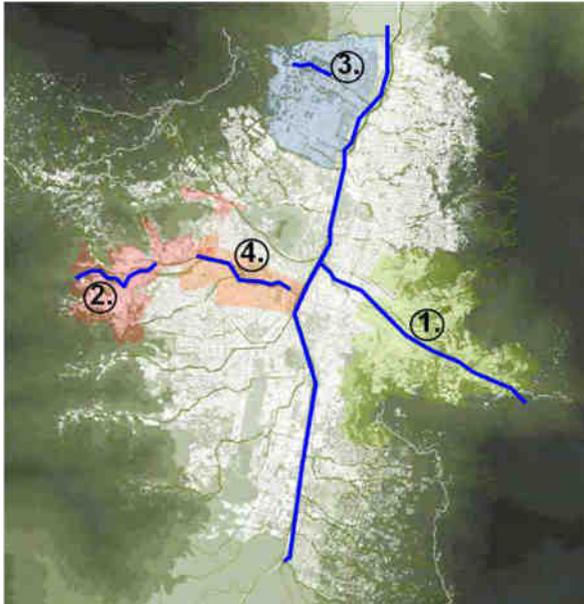


Figura 54. Ubicación de parques lineales Medellín. Fuente: Parques lineales EDU-Municipio de Medellín.

1. Q. SANTA ELENA
2. Q. EL SALADO
3. Q. LAS TINAJAS
4. Q. LA HUESO

De estos, se tuvo la oportunidad de visitar el parque lineal de la quebrada la tinaja (3); ya ejecutado, y el de de la quebrada Santa Elena (1) en proceso de iniciar obras. A continuación se hace una pequeña reseña de cada uno de estos proyectos.

#### - Parque lineal de la quebrada la Tinaja

El Parque Lineal de la quebrada La Tinaja se ubica en la zona Noroccidental de Medellín entre las comunas 5 y 6, y comprende el tramo entre las carreras 70 y 76 con calles 104B y 105A.

El tramo desarrollado en la actualidad tiene una longitud de 600 metros lineales y un área aproximada de 33.950 metros cuadrados, y se planteo como el tramo inicial de tres propuestos desde el proyecto estratégico del PUI NOC (proyecto urbano integral de la zona noroccidental).

Se plantea que:

*“Con ellos el proyecto del parque lineal de la quebrada tinaja aparece como un eje vital asociado a una estructura natural existente, corredor ambiental en el cual se hace conexión peatonal por todo el territorio en sentido oriente occidente y conecta la centralidad del 12 de Octubre a la altura de la carrera 80 hasta la autopista y el rio Medellín”<sup>47</sup>.*



Figura 55-56-57. Fotos Parque lineal quebrada la tinaja. 2011. Propias.

<sup>47</sup> ALCALDIA DE MEDELLIN, informe N.002, Parque lineal para la quebrada la Tinaja, 2009. p.7.

De acuerdo con el recorrido hecho, se observó que las intervenciones hechas hacia este tramo del eje se han concentrado básicamente en el mejoramiento y recuperación de las zonas verdes, solucionando problemas de acumulación de residuos y adecuándolas con nuevas coberturas vegetales, implementando caminos y cruces peatonales, y la dotación de mobiliario urbano y espacios de encuentro.

### - Parque lineal de la quebrada Santa Elena

El Parque Lineal de la quebrada Santa Elena se ubica en la zona Centro Oriental de Medellín entre las comunas 8 y 9; y comprende el tramo entre la carrera 36 hasta la carrera 9 y las calles 51 y calle 52.

Esta intervención tendrá una longitud de 1.9 kilómetros y un área de 75.000 m<sup>2</sup> aproximadamente, y se plantea a partir de cuatro etapas o tramos consecutivos en dirección oriental. El tramo total a intervenir comienza en el punto antes de que la quebrada ha sido cubierta en una longitud de aproximadamente 2.3 Km; de acuerdo con la reseña histórica presentada en el subcapítulo anterior.

Este proyecto se encuentra en proceso de ejecución, sin embargo, en la visita se pudo contar con algunos de los responsables del proyecto desde la empresa de desarrollo urbano EDU, los cuales a su vez facilitaron alguna información para poder aproximarse y comprenderlo.



Figura 58. Plano general de propuesta plan maestro para el parque lineal de la quebrada Santa Elena. Fuente: Parques lineales EDU, PUI COR.

De acuerdo con lo anterior se pudo observar que el planteamiento hecho para este proyecto por las mismas condiciones y alcances, es de mucho más envergadura que el anterior, y que involucra incluso la reubicación de parte de los asentamientos subnormales dados en algunas áreas dentro de las márgenes de la quebrada y que básicamente plantea al igual que el anterior, pero en mayor tamaño la adecuación de plazoletas, jardines, andenes, caminos, zonas verdes y áreas deportivas.



Figura 59-60-61. Fotos en zonas donde se hará el parque lineal de la quebrada Santa Elena. 2011. Propias.

De acuerdo con lo anterior y algunas otras aproximaciones hechas previamente por fuera de esta investigación en relación con el tema, durante el periodo académico del master del cual corresponde esta tesis, y en relación con los intereses de esta investigación, Se puede concluir que:

- Estas intervenciones han comenzado a darle la cara nuevamente a estos espacios que por muchos años fueron considerados residuales, logrando mejorar las condiciones de habitabilidad de las comunidades aledañas y dando un paso hacia la revinculación ambiental de las quebradas y los ciudadanos.
- Las intervenciones propuestas plantean sobre todo el mejoramiento de las zonas verdes; recuperando las áreas donde se daban acumulaciones de residuos, la implementación de caminos y cruces peatonales, la reubicación parcial de los asentamientos subnormales, y la adecuación de espacios de encuentro, dando como resultado intervenciones paisajísticas dentro de unas posibilidades económicas y técnicas restringidas.
- Los cauces de las quebradas quedan desvinculados de las propuestas de intervención y recuperación ambiental, no se plantean estrategias concretas de rehabilitación de cauces.
- Aunque comienzan a contribuir en el mejoramiento ambiental de estas áreas, generando condiciones que permiten recuperar algunos procesos ecológicos, estos proyectos son aun intervenciones puntuales, que aunque parten de una visión general no logran una integralidad a partir de estrategias específicas para la totalidad del eje en su tramo urbano, bajo un criterio de conectividad ecológica.
- Estos proyectos proponen actuaciones restringidas, y que se concentran sobre todo en el componente socio-cultural y físico-espacial a partir de una visión de la situación base y de la potencialidad de estos ejes desde las perspectivas del urbanismo tradicional, dejando de lado una visión integral de la problemática medio ambiental y de la situación o potencial de estos ejes como conectores ecológicos.

### 3.3. PRINCIPALES CONDICIONANTES DE LOS EJES DE QUEBRADA QUE CONFORMAN EL SISTEMA HIDROGRÁFICO, Y SUS INFRAESTRUCTURAS EN EL CONTEXTO URBANO DE MEDELLÍN.

De acuerdo con lo presentado en el subcapítulo anterior y entendiendo el contexto de la ciudad a partir de un sistema natural base determinado contundentemente por el sistema hidrográfico (la red hídrica), se hace una aproximación cualitativa desde el componente natural y el físico-espacial, a las características y situaciones generales comunes que presentan los ejes de quebrada en el contexto urbano de Medellín, a partir de imágenes e información de diferentes quebradas sin un orden específico ; sin desconocer antes que cada eje puede tener sus especificidades, pero dejando claro que lo que se pretende es tener una visión general de las situaciones para entender el contexto que interesa a esta investigación.

Se tiene en cuenta información presente en algunos Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de las Microcuencas (PIOMS), elaborados para algunas quebradas por los Entes territoriales del Municipio de Medellín en los últimos 10 años, y de documentos del diagnóstico y formulación del proyecto de Parques Lineales de Quebrada elaborados por la Empresa de Desarrollo Urbano de Medellín (EDU) entre el 2009 y 2010.

#### 3.3.1. Componente-natural

Se entiende como componente natural, la matriz o base natural preexistente, donde se ha desarrollado la ciudad, y que en este caso está determinada por la cuenca del río Aburrá. En esta sus ejes pueden presentar configuraciones y comportamientos diferentes o comunes de acuerdo con la topografía, el régimen hidrológico, y la vegetación, viéndose a su vez condicionados por las intervenciones antrópicas.

##### 3.3.1.1. Geología y relieve

Generalmente los ejes de quebrada presentes en la cuenca del río Aburrá se caracterizan por tener topografías irregulares con una gran variabilidad de pendientes en sus recorridos, por lo que es importante diferenciar Tres zonas diferentes: las partes altas donde se da el nacimiento, la parte media alta y media, y la parte baja en el valle donde finalmente se unen al río.

En las **partes altas** generalmente los ejes están configurados por pendientes muy altas y escarpadas que pueden oscilar entre el 40 y más del 60% en casos específicos, presentando a su vez causas encañonados.

Las **partes medias** donde generalmente se da la transición entre lo urbano y periurbano, se caracterizan por pendientes alrededor del 30 y 40%, con configuraciones geomorfológicas diversas de acuerdo con cada eje.

Las **partes bajas** presentan pendientes generalmente suaves, entre un 2 y 10%.

La zona urbana se ubica entre las partes medias y bajas de los tramos de quebrada, y como se ha dejado claro desde los capítulos anteriores, es allí donde se enfoca esta investigación.

A continuación se presentan ejemplos de la delimitación por zonas de dos micro cuencas presentes en la cuenca del río aburra en relación con el área urbana, y donde se muestra su relación y configuración desde las partes altas hasta las partes bajas, de acuerdo con los estudios hechos por los PIOMS respectivos.

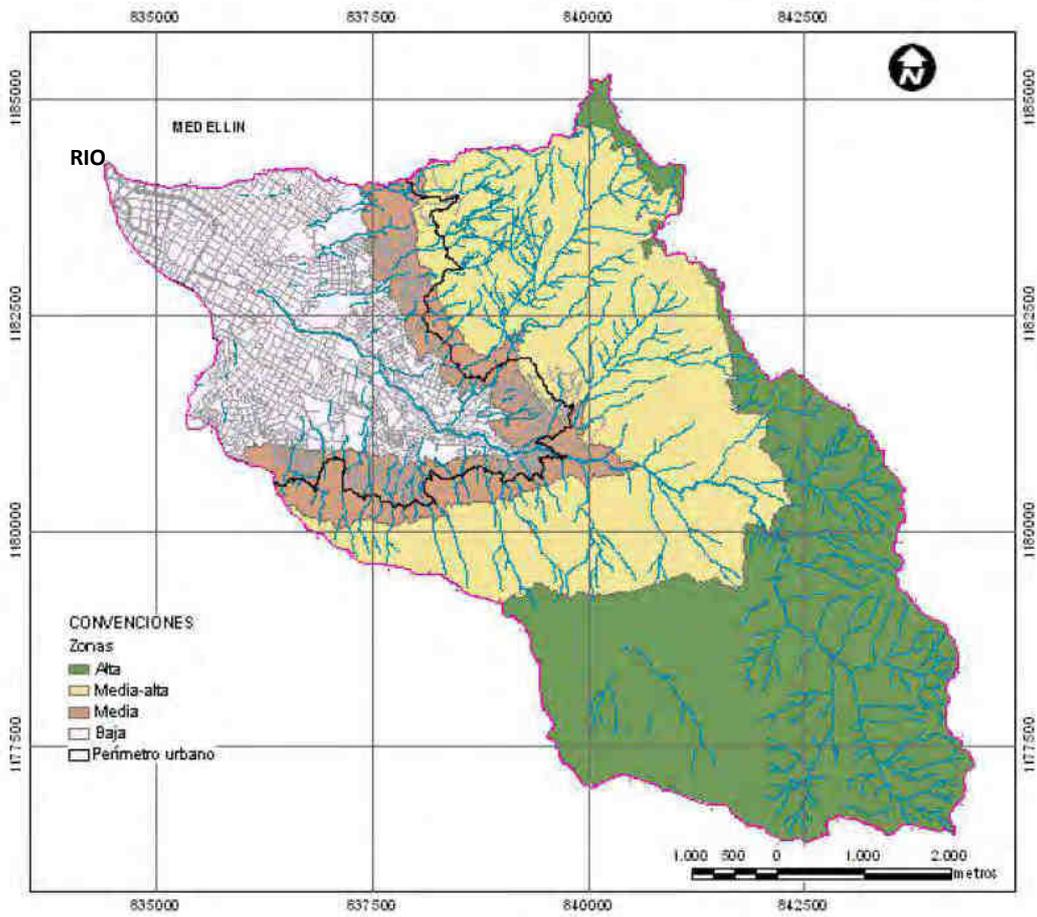


Figura 62. Zonificación de pendientes de la microcuenca de la quebrada Santa Elena. Fuente: PIOM Q. Santa Elena.

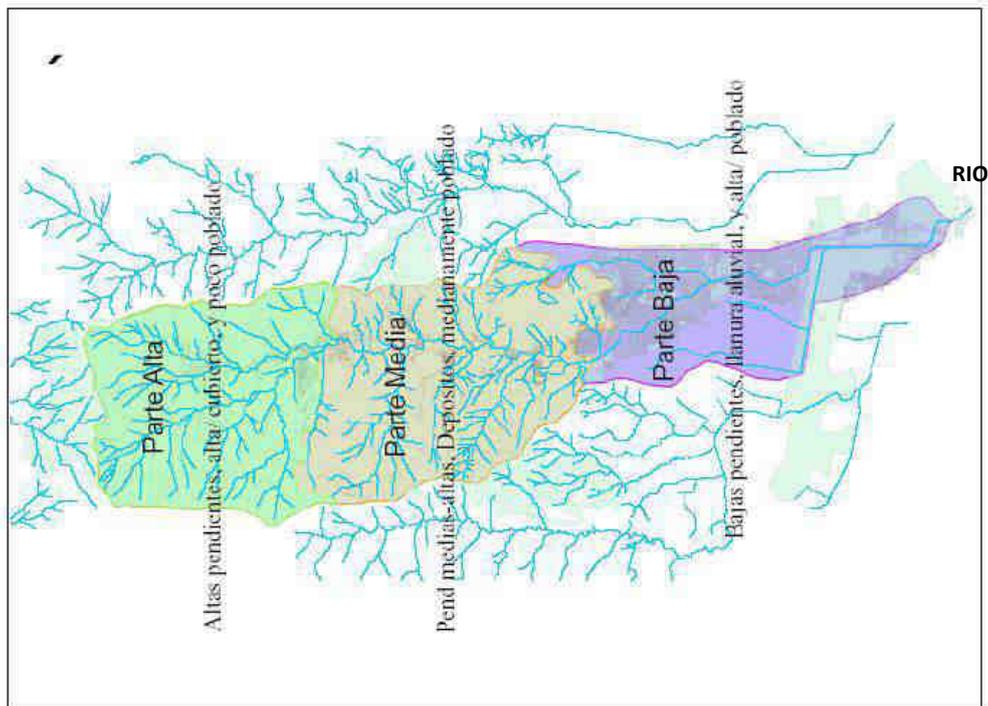


Figura 63. Zonificación de pendientes de la microcuenca de la quebrada Alta Vista. Fuente: PIOM Q. Alta Vista

### 3.3.1.2. Dinámica Hídrica

De acuerdo con la configuración geomorfológica y debido a los elevados niveles de precipitación dados en las zonas altas, los ejes de quebrada presentes en la cuenca del río Aburrá se caracterizan por tener un flujo superficial permanente. A continuación se presentan ejemplos de la variación en los niveles de precipitación dados en dos microcuencas presentes en la cuenca del río Aburrá.

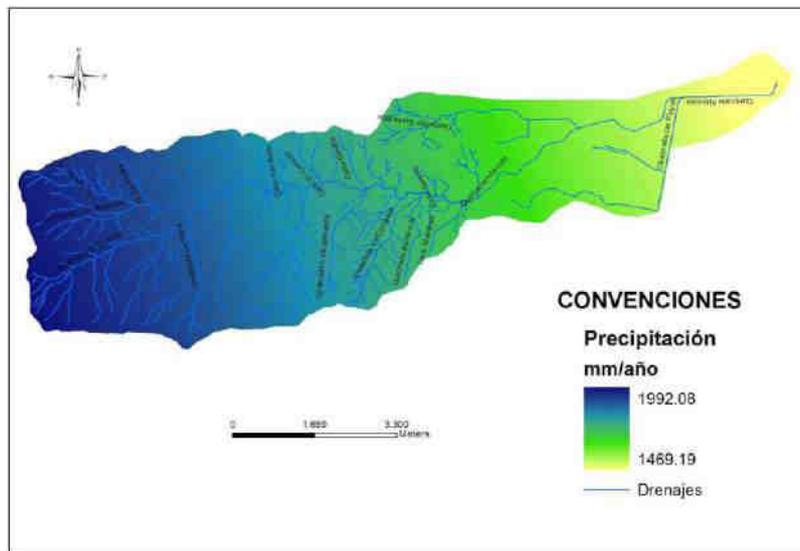


Figura 64. Zonificación por niveles de precipitación de la microcuenca de la quebrada AltaVista.  
Fuente: PIOM Q. AltaVista.

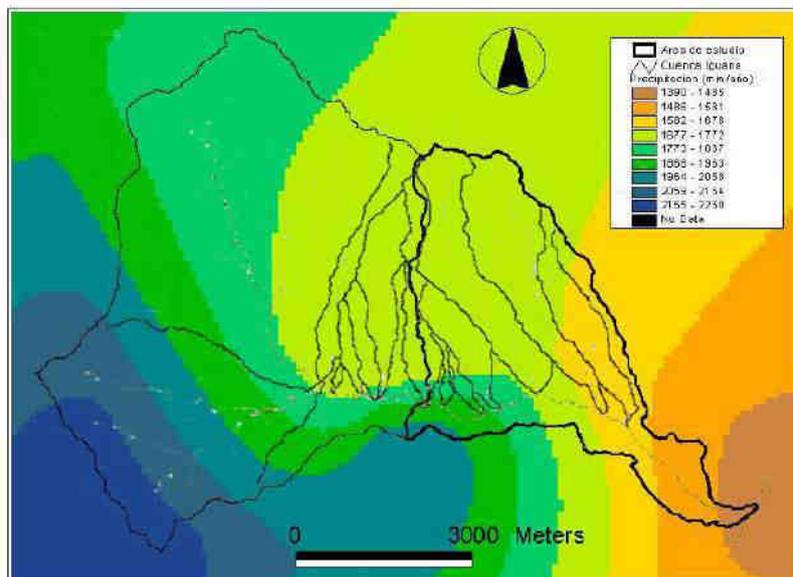


Figura 65. Zonificación por niveles de precipitación de la microcuenca de la quebrada la Iguana.  
Fuente: PIOM Q. la Iguana.

El aumento del caudal de estos ejes, se ha dado debido al aporte de vertimientos de aguas residuales hechos por asentamientos subnormales carentes de alcantarillado dados hacia las zonas de quebrada, como por algunas empresas de manera ilegal, o por conexiones erradas (aguas residuales mezcladas con aguas lluvia), lo cual ha convertido estos ejes en verdaderas alcantarillas.

Aunque el sistema de las Empresas Publicas de Medellín (EPPM) ha comenzado desde hace más de 40 años la implementación de una red de colectores hacia los ejes de quebrada para evitar el vertimiento directo del sistema de alcantarillado, y que para 2009 según datos de EPPM se contaba con un 88% del total requerido, aun no se logra controlar totalmente el problema de los vertimientos de los asentamientos subnormales.

Lo anterior, unido a la rectificación y el estrechamiento de los cauces en algunos puntos de los ejes de quebrada, la extracción de material y los procesos erosivos que se dan por lo general en las partes altas de la cuenca; generando procesos de sedimentación y reducción de la capacidad hidráulica, y potencializados a su vez por la inadecuada disposición de basuras y escombros, ocasionan el desbordamiento de las aguas y problemas de inundación en épocas de fuertes lluvias.



**1.** Extracción de material que ocasiona sedimentación y reducción de la capacidad hídrica. (Figura 66. Fuente: Estado del componente Hídrico. Archivo Parques Lineales - Quebrada el Salado. EDU. 2009).

**2.** Asentamientos subnormales sobre márgenes, vertimiento de aguas residuales y acumulación de basuras (Figura 67. quebrada la Madera – fuente: Google)

**3.** Vertimientos de EPM. (Figura 68. Fuente: Estado del componente Hídrico. Archivo Parques Lineales - Quebrada la Hueso .EDU. 2009).

**4.** Socavación de márgenes y estructuras de protección. (Figura 69. Fuente: Estado del componente Hídrico. Archivo Parques Lineales - Quebrada Santa Elena .EDU. 2010).

**5.** Desbordamientos por lluvias torrenciales (Figura 70. Fuente: Google)

### 3.3.1.3. Vegetación

Se puede decir que la base del componente florístico presente en el contexto territorial de la cuenca del río Aburrá, se da a partir de dos formaciones vegetales:

el **Bosque muy húmedo montano-bajo (bmh-MB)** dado a partir de condiciones con precipitaciones medias anuales de 2.000 a 4.000 mm, altitudes de 2.000 a 3.000 m y temperaturas medias anuales entre 12 y 18°C, que corresponden a las partes altas de las sub-cuencas correspondientes a las zonas periurbanas y suburbanas.

el **Bosque húmedo premontano (bh-PM)**, dado a partir de condiciones con precipitaciones medias anuales de 1.000 a 2.000 mm, altitudes de 1.000 a 2.000 msnm y temperaturas medias anuales entre 18 y 24°C. Este abarca como tal toda el área urbana.

Sin embargo Dependiendo del tipo de eje y su configuración, el componente vegetal puede variar de un caso a otro especialmente dentro del contexto urbano debido a los procesos de intervención que se han dado hacia sus márgenes.

A continuación se hace una aproximación a diferentes situaciones comunes, que independientemente del tipo de especies presentes en los ejes de quebrada, se dan de acuerdo con las dinámicas entre el componente natural y las intervenciones antrópicas.



**1.** arborización densa, especialmente en las partes altas donde aun no se han dado intervenciones antrópicas contundentes. (Figura 71. Fuente: Estado del componente Vegetal. Archivo Parques Lineales - Quebrada Santa Elena. EDU. 2009).

**2.** vegetación caracterizada por Árboles ornamentales y frutales, en las áreas o tramos donde se dan los asentamientos subnormales; que en algunos casos dejan espacios entre el cauce y las viviendas asociados a patios traseros. (Figura 72. Fuente: Estado del componente Vegetal. Archivo Parques Lineales - Quebrada Santa Elena. EDU. 2009).

**3.** áreas con pastos de regeneración, especies rastreras, y árboles y arbustos dispersos; generalmente en áreas residuales y en estado de abandono luego de los desarrollos urbanos.

(Figura 73. Quebrada la iguana – Fuente: Google)

4. zonas verdes sin arborización que potencializan los procesos de erosión. (Figura 74. Fuente: Estado del componente Vegetal. Archivo Parques Lineales - Quebrada Santa Elena. EDU. 2009).
5. zonas densas con arborización mixta que favorecen la biodiversidad, generalmente en tramos continuos con pocas intervenciones antrópicas. (Figura 75. Fuente: Estado del componente Vegetal. Archivo Parques Lineales - Quebrada la tinaja. EDU. 2009).
6. líneas de arborización planeada por procesos de reforestación hacia márgenes intervenidas por los desarrollos urbanos. (Figura 76. Fuente: Estado del componente Vegetal. Archivo Parques Lineales - Quebrada la tinaja. EDU. 2009).

### 3.3.2. Componente Físico –Espacial

El desarrollo urbano y las intervenciones antrópicas descontroladas sobre el territorio donde se asienta la ciudad de Medellín, han ejercido una presión constante sobre el sistema hidrográfico en la corta historia de la ciudad, donde factores como la movilidad y la creación de áreas de expansión planeadas y/o subnormales, han sido determinantes en la conformación de la ciudad actual, alterando el sistema natural base y sometiéndolo a una reducción de su complejidad.

#### 3.3.2.1. Morfología Urbana

Por lo general La morfología urbana dada en relación con el sistema hidrográfico de la ciudad muestra los diferentes procesos de conformación de ésta, ya que el modelo de crecimiento que se ha dado en la cuenca ha sido desde el centro o valle fluvial principal hacia las periferias; desde la retícula ortogonal de los procesos fundacionales de la quebrada santa Elena, o los primeros barrios y zonas industriales planeados hacia las zonas bajas de la ciudad en relación con un gran número de ejes, hasta unos bordes mas informales y desarticulados con la estructura de la ciudad; con predominio en las zonas altas. Determinando esto las relaciones dadas entre el cauce, las riveras y las márgenes de las quebradas que corren por la ciudad en la actualidad.

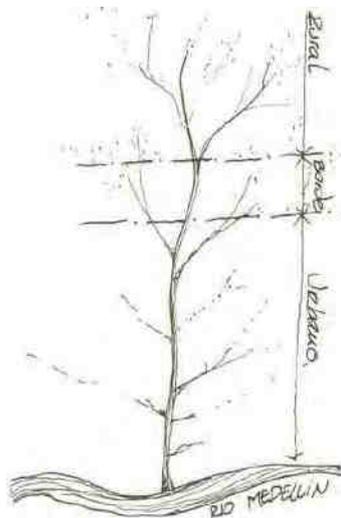


Figura 77. Sistema base – Fuente: Parques Lineales. EDU. 2009

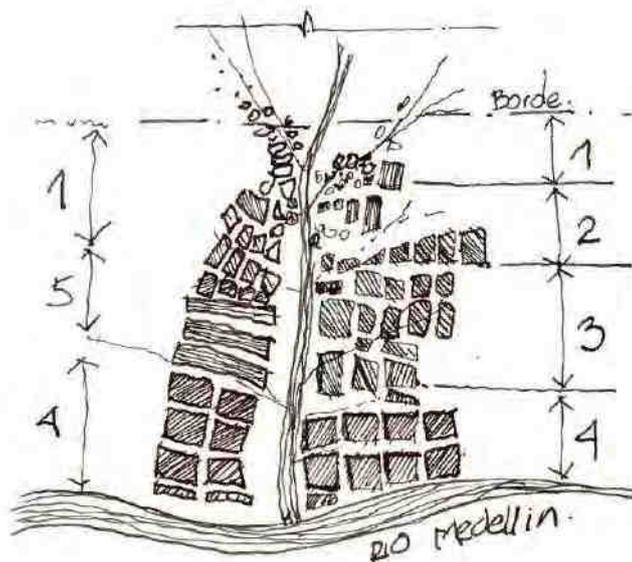


Figura 78. Lo Construido. Estructura Urbana – Fuente: Parques Lineales. EDU. 2009

### 3.3.2.2. Ocupación del suelo en relación con las márgenes

Al tratarse de suelo urbano, la diferenciación de usos de suelo se hace a partir de los tipos de ocupación, que en el caso de estudio, tomando como ejemplo lo presentado en la figur.79 en relación con la micro cuenca de la quebrada de la iguana ubicada al occidente de la ciudad; y que es común en muchas otras quebradas de la ciudad , hacia el eje principal de la quebrada predominan los usos de vivienda en especial la de invasión, lo cual se convierte una de las principales problemática en relación a la ocupación de cauces y márgenes de las quebradas de la ciudad.

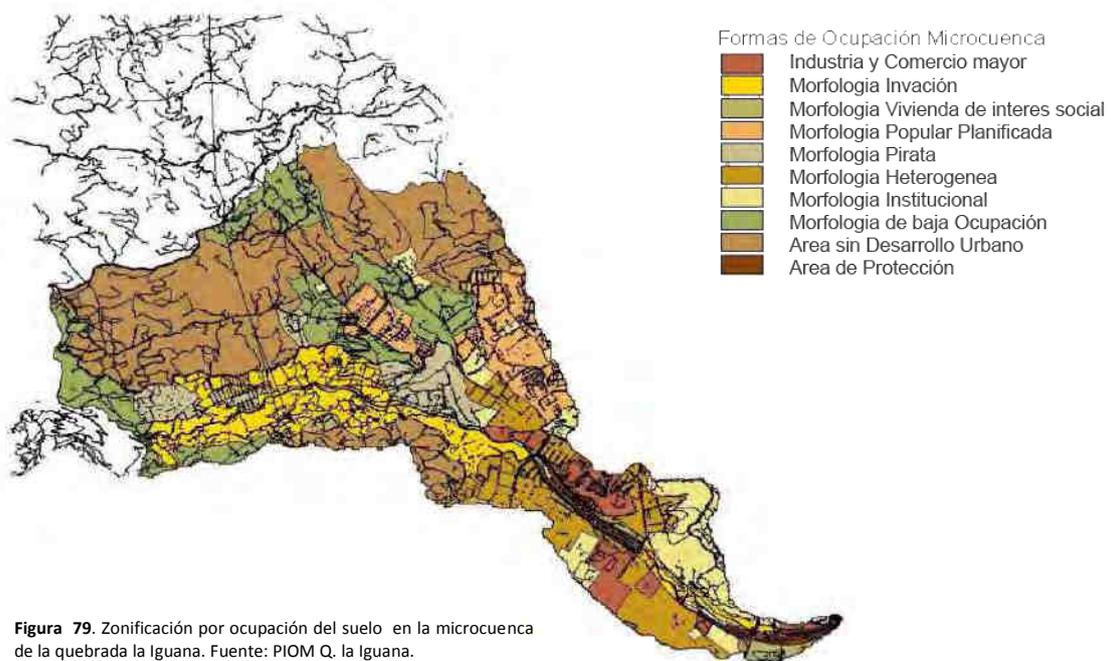


Figura 79. Zonificación por ocupación del suelo en la microcuenca de la quebrada la Iguana. Fuente: PIOM Q. la Iguana.



1. Ocupación de baja intensidad dejando áreas libres de apropiación difusa. (Figura 80. Quebrada la iguana – Fuente: Google).
2. Ocupación de márgenes por asentamientos subnormales. (Figura 81. Fuente: Archivo Parques Lineales - Quebrada Santa Elena. EDU. 2009).
3. Presencia de Terminales de buses urbanos, que ocupan parte de las márgenes (Figura 82. Fuente: Archivo Parques Lineales - sector El Molino y Caicedo quebrada Santa Elena. EDU. 2009).
4. Ubicación de placas polideportivas de bajas especificaciones. (Figura 83. Fuente: Archivo Parques Lineales - sector El Molino quebrada Santa Elena. EDU. 2009).
5. zonas verdes deterioradas y en abandono (Figura 84. Fuente: Archivo Parques Lineales - quebrada el saludo. EDU. 2009).
6. adecuación de márgenes para espacios de estancia y senderos peatonales (Figura 85. Fuente: Archivo Parques Lineales - quebrada la Hueso. EDU. 2009).

### 3.3.2.3. Infraestructuras en relación con los ejes de quebrada

#### 3.3.2.3.1. Cubrimiento de causes

El cubrimiento de un cauce o eje hidrográfico ha estado presente de forma muy marcada en el proceso de desarrollo urbano de la ciudad. Gran cantidad de ejes en diferentes tramos han sufrido este fenómeno, sobre todo en las partes medias y bajas de las subcuencas; donde se han dado las mayores infraestructuras, siendo esta la principal alteración que pueda sufrir un cuerpo de agua y uno de los mayores problemas que enfrenta la conectividad ecológica en el contexto urbano.

Diferentes situaciones son las que se pueden presentar en el caso de la ciudad de Medellín, aquí tres de las más comunes:



1. se alteran y cubren completamente largos tramos del sistema hidrográfico base, siguiendo su recorrido longitudinal, y quedando el cuerpo fluvial aislado de las relaciones urbanas, dando paso a un nuevo eje vial dentro de la trama urbana de la ciudad. (Figura 86. Cubrimiento de la quebrada Santa Elena (av. la playa) Fuente: Google)
2. Se cubren completamente tramos específicos para la creación de equipamientos deportivos o espacios públicos, desvinculando el curso de agua de su contexto e introduciendo el recurso hídrico dentro de tuberías, asumiéndose este como una simple red de evacuación. (Figura 87. Cubrimiento de la quebrada en inmediaciones al sector denominado el Chispero. Fuente: Archivo Parques Lineales - Quebrada el Salado. EDU. 2009).
3. Se cubren parcialmente tramos de quebrada para posibilitar las conexiones viales, siendo esta situación una constante debido a la configuración del sistema natural base vs. la trama urbana creada. (Figura 88. Cubrimiento de la quebrada por los cruces viales. Fuente: Archivo Parques Lineales - Quebrada la Hueso. EDU. 2009).

De acuerdo con lo anterior se presentan a continuación varios ejemplos de diferentes tipos de cubrimientos, a partir de imágenes aéreas, donde se muestran ejemplos más específicos de las situaciones planteadas anteriormente en la ciudad de Medellín.



Figura 89. Situaciones de cobertura en la quebrada Ana días al occidente de la ciudad, Elaboración propia con base Google Earth.

En este caso se presentan 3 situaciones específicas de cubrimiento en tramos continuos de la quebrada Ana días, ubicada al centro occidente de la ciudad. La **situación 2A** se da a partir de un equipamiento educativo y deportivo, cuyas ares libres han cubierto el cauce de la quebrada. la **situación 2B** se da por la presencia de un parque barrial arborizado configurado sobre el eje de la quebrada. Y la **situación 1** está dada por la configuración de una vía de conexión secundaria.



Figura 90. Situaciones de cobertura en la quebrada la Picacha al occidente de la ciudad, Elaboración propia con base Google Earth.

En este caso se presentan situaciones de cubrimiento parcial en tramos de la quebrada la Picacha, ubicada al centro occidente de la ciudad. La **situación 3A** muestra un cruce vehicular de una vía principal (calle 33) de mayor jerarquía en su sección vial, y la **situación 3B** presenta dos cruces de vías secundarias.



Figura 91. Situación de cobertura en la quebrada la Hueso al occidente de la ciudad, Elaboración propia con base Google Earth.

En este caso se presenta una situación de cubrimiento en un tramo de la quebrada la Hueso, ubicada al centro occidente de la ciudad, la **situación 2** muestra la configuración de una plazoleta en relación con la estación de metro cubriendo un tramo considerable del eje de la quebrada.



Figura 92. Situación de cobertura en la quebrada la Madera al Nor-occidente de la ciudad, Elaboración propia con base Google Earth.

En este caso se presenta una situación de cubrimiento en la desembocadura de la quebrada la Madera ubicada al noroccidente de la ciudad, entre los municipios de Medellín y Bello. La **situación 2** muestra como la configuración de áreas industriales o de servicios hacia el eje principal del rio Medellín (rio Aburrá) bloquea la continuidad final de la quebrada.



**Figura 93.** Situaciones de cobertura en las quebradas la Iguana al occidente, y Santa Elena al oriente de la ciudad en su desembocadura al río Medellín., Elaboración propia con base Google Earth.

En este caso se presenta otra situación en la unión entre los ejes de quebrada y el río Medellín, en este caso específico con la quebrada la Iguana ubicada al centro occidente de la ciudad, y la quebrada Santa Elena ubicada al centro oriente de la ciudad. La **situación 3** muestra la sucesión de cubrimientos parciales por vías principales y alternas que configuran el corredor vial metropolitano en los costados del río Medellín.

### 3.3.2.3.2. Infraestructuras de Movilidad

La red viaria juega un papel muy importante en la relación existente entre la trama urbana y el sistema hidrográfico de la ciudad, y como se ha visto en los tipos de cubrimientos, el desarrollo de las infraestructuras viales es junto con los asentamientos informales el principal problema que entra a condicionar las condiciones ecológicas de los ejes hidrográficos dentro del contexto urbano.

A continuaciones algunas de las situaciones más comunes:





**1.** Estrangulamiento de la quebrada en los cruces viales. (Efecto corbatín) (Figura 94. Fuente: Archivo Parques Lineales - quebrada Santa Elena. EDU. 2009)

**2.** Configuración de corredores de movilidad para los sistemas de transporte y vías paralelas a los ejes hidrográficos. (Figura 95. Fuente: Archivo Parques Lineales - quebrada La hueso. EDU. 2009)

**3.** Cubrimiento y desarticulación del sistema por cruces, espacios inertes. (Figura 96. Fuente: Archivo Parques Lineales - quebrada la Hueso. EDU. 2009)

**4.** Configuración de ejes viales paralelos a ejes de quebrada, comprometiendo en algunos casos zonas de retiros. (Figura 97. Fuente: Archivo Parques Lineales – barrio sucre, quebrada Santa Elena. EDU. 2009)

**5.** Senderos peatonales paralelos al eje de quebrada en algunos casos con superficies impermeables. (Figura 98. Fuente: Archivo Parques Lineales - quebrada la hueso. EDU. 2009)

**6.** imagen resumen, ejemplo relación de infraestructuras viales y ejes hidrográficos.(Figura 99.quebrada Doña María. Fuente: Google)

### 3.3.2.3.3. Estructuras y superficies de ribera

La intención de controlar la dinámica natural, y proteger las márgenes de las quebradas en el contexto urbano de la ciudad, ha estado marcada por la implementación de diferentes estructuras artificiales hacia las riveras, que más que tratar de forma integral los problemas generados por la fuerte urbanización, se han convertido en intervenciones puntuales que modifican y endurecen el sistema natural base y que no logran solucionar de forma integral los problemas hidráulicos y geotécnicos que se dan hacia estos ejes, potencializando el deterioro de las condiciones ecológicas, la alteración de los regímenes de caudales y velocidades del flujo, y poniendo en mayor riesgo otras áreas a lo largo del eje, sobre todo en las épocas más lluviosas.



1. riveras sin estructuras rígidas pero con tramos que presentan problemas de erosión y alta sedimentación. (Figura 100. Quebrada la iguana – Fuente: Google).

2. riveras intervenidas parcialmente por estructuras rígidas puntuales para la conformación de asentamientos subnormales. (Figura 101. Fuente: Archivo Parques Lineales - Quebrada el salado. EDU. 2009).

3. estructuras rígidas sucesivas de diferente conformación que siguen las formas del cauce (Figura 102. Fuente: Archivo Parques Lineales - Quebrada el salado. EDU. 2009).

4. canalización y rectificación de tramos de quebrada a partir de intervenciones planeadas con estructuras inclinadas y superficies impermeables. (Figura 103. Quebrada la iguana – Fuente: Google).

5. canalización y rectificación de tramos de quebrada con canales rectangulares y trapezoidales, y barreras directas transversales al cauce (artificialización total del cauce y riveras) (Figura 104. Fuente: Archivo Parques Lineales - quebrada la tinaja. EDU. 2009).

6. canalización total del cauce y riveras con superficies impermeables (Figura 105. Fuente: Archivo Parques Lineales - quebrada la Hueso. EDU. 2009).

### 3.3.3. Síntesis de situaciones típicas del estado actual de las quebradas en Medellín

De acuerdo con lo presentado en los subcapítulos anteriores, y referenciando el diagnóstico hecho por el proyecto de parques lineales EDU, se puede concluir que los ejes que componen el sistema hidrográfico en el contexto urbano de la ciudad de Medellín pueden presentar diversas configuraciones a partir de las intervenciones antrópicas dadas en el desarrollo de la ciudad, desde el estado de la negación o cubrimiento total del sistema hasta la existencia de tramos o fragmentos aun poco intervenidos con condiciones relativamente buenas, como se muestra en los siguientes esquemas:

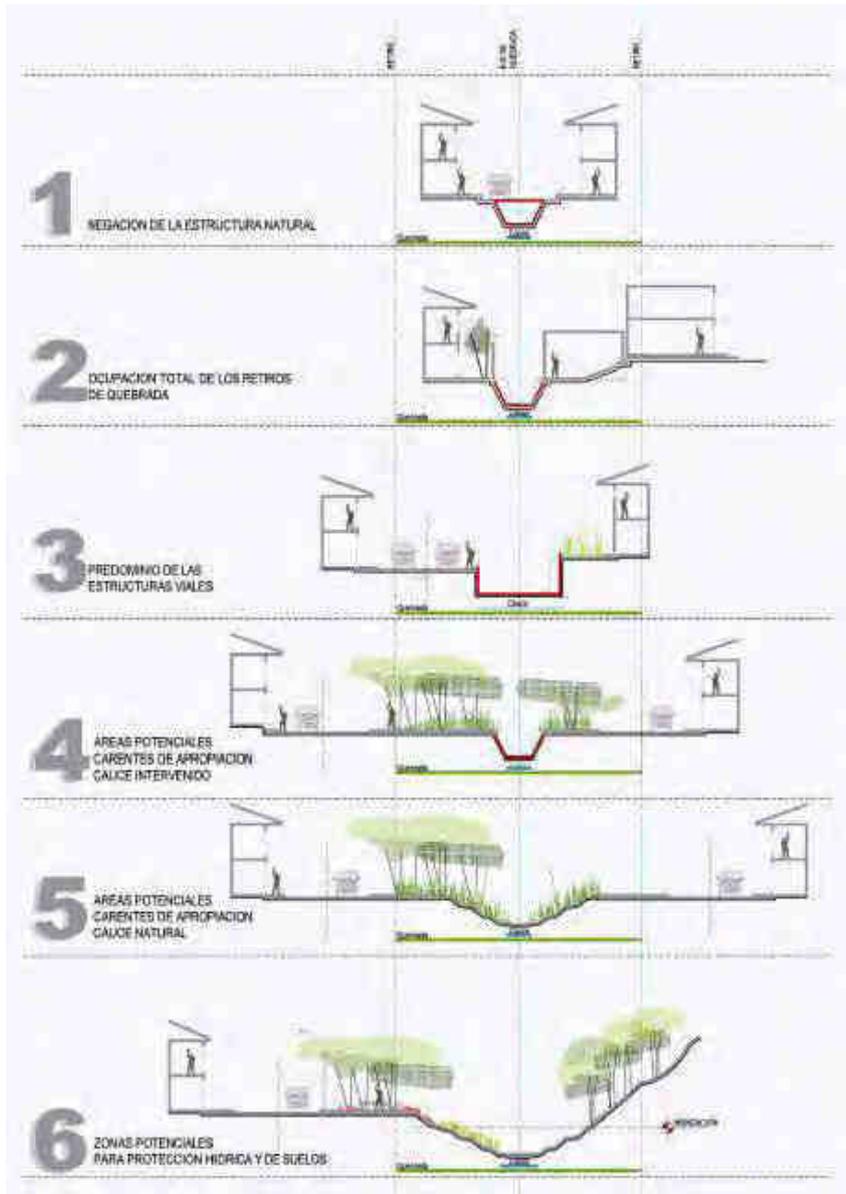


Figura 106. Situaciones típicas del estado actual de las quebradas en Medellín. Fuente: Informes Parques lineales EDU. 2009-2010

En el contexto de esta investigación se ha visto la necesidad de poder llegar a una base con la que se pueda cuantificar esta realidad bajo el criterio de la conectividad ecológica, trascendiendo así; en lo posible, de una simple aproximación cualitativa a una más específica y sistemica, a partir de una visión ecológica de la compleja realidad.

#### 4. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO BASE, PARA LA VALORACIÓN DEL POTENCIAL DE CONECTIVIDAD ECOLÓGICA DE LOS EJES PRINCIPALES DE UN SISTEMA HIDROGRÁFICO EN EL CONTEXTO URBANO, REFERENCIA AL CASO MEDELLÍN:

En este capítulo se deja planteada una base metodológica apoyada en un sistema de indicadores básico que permitiría; en tanto pudiera aplicarse, aproximarse no solo cualitativamente; como se ha hecho hasta ahora, sino sobre todo cuantitativamente, al estado de las condiciones hidromorfológicas en relación con el potencial de conectividad ecológica de los ejes de quebrada en el contexto urbano, de acuerdo con los componentes natural y físico espacial expuestos en el capítulo anterior. Este se considera un primer paso para poder aproximarse de forma más integral a la situación expuesta, y permitir a futuro marcar objetivos y plantear estrategias de intervención más sostenibles hacia los ejes de quebrada, que potencialicen la restauración, rehabilitación y/o mejoramiento de las condiciones ecológicas del sistema hidrográfico en el contexto urbano. Cabe señalar que para la implementación de esta base, se debería contar con información específica que muy seguramente en la actualidad no se tiene en su totalidad. Sin embargo esto no es una limitante para poder hacer el planteamiento.

##### 4.1. Niveles de conectividad ecológica

De acuerdo con lo referenciado, comprendido y conceptualizado en los capítulos anteriores, queda claro que la conectividad ecológica hay que mirarla desde varios ángulos, y cuantificarla teniendo en cuenta diferentes componentes que se relacionan entre sí, especialmente una vez se vincula este concepto con un sistema hidrográfico.

En relación con esto, se plantea que la base para evaluar la conectividad ecológica hacia los ejes que conforman un sistema hidrográfico, podría darse a partir de unos niveles de conectividad que relacionan; según nivel, unos componentes, unas funciones y condiciones determinadas que garantizan el equilibrio del sistema, y que en su totalidad determinan el estado de sus condiciones ecológicas. Se plantean entonces tres niveles de conectividad de acuerdo con el siguiente gráfico:

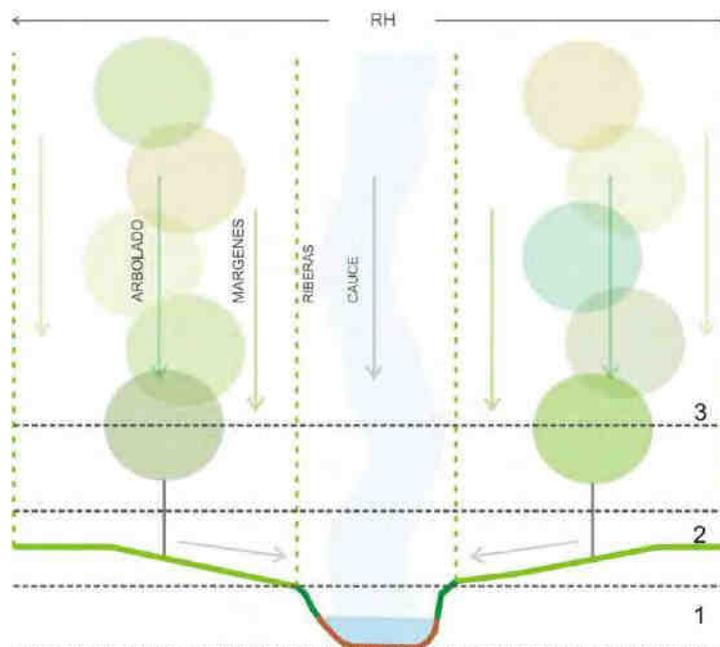


Figura 107. Esquema de niveles de conectividad ecológica en ejes hidrográficos. Elaboración propia.

De acuerdo con el gráfico, se plantea que estos tres niveles parten de las relaciones longitudinales y transversales presentes en el eje, tanto desde su parte inferior o base; conectada directamente con el subsuelo a partir del cauce, sus riberas y el recurso hídrico, hasta su relación superior a partir del componente vegetal arbóreo que configura una red continua aérea. A continuación se hace una descripción más específica para cada uno de los niveles planteados.

 **Nivel 1 (NCE\_1).** Compuesto por el cauce y las riberas, este nivel se ve determinado directamente por el régimen hidrológico, y en este la conectividad se valora a partir del flujo continuo del recurso y de unos bordes o riberas que posibiliten su autorregulación, configurando un espacio continuo longitudinalmente. A su vez el buen estado del recurso es fundamental para lograr ecosistemas sanos a lo largo del eje fluvial.

 **Nivel 2 (NCE\_2).** compuesto por las márgenes fluviales y en relación directa con las riberas, este nivel se ve determinado directamente por el tipo de suelo o superficie y los usos que se le dan a este, valorándose la conectividad a partir de una relación continua de suelos permeables; que potencializan la recarga de los acuíferos, y de coberturas vegetales de bajo porte que permiten regular los flujos torrenciales de las posibles crecidas en épocas de lluvia, e incluso el tratamiento y control de las aguas de escorrentías antes de llegar al cauce.

 **Nivel 3 (NCE\_3).** compuesto específicamente por el componente vegetal arbóreo de mayor porte que se da en las márgenes fluviales, este nivel se ve determinado por el tipo de arborización y su relación entre componentes, valorándose la conectividad a partir de la sucesión e intersección de los árboles presentes como una red aérea que potencializa la regulación del ciclo hidrológico sobre los otros dos niveles, controlando a su vez las condiciones climáticas (generación de microclimas), y generando una estructura natural que permite una mayor biodiversidad.

Partiendo de esto, se podría dar una valoración alta, media o baja, de acuerdo con el potencial de conectividad presente en un eje o tramo de eje determinado, a partir de la cuantificación de variables específicas bajo diferentes parámetros por cada tipo de nivel, dando Valores a cada uno de estos a partir de indicadores específicos.

La valoración de estos niveles en el contexto urbano supone su vinculación tanto con parámetros y variables relacionadas con las condiciones naturales como con las físico espaciales presentadas en el capítulo anterior para el caso de Medellín, delimitándose y organizándose de acuerdo con cada nivel para su identificación y cuantificación respectiva.

Se plantea entonces un sistema de indicadores básico, que en relación con los niveles propuestos, identifiquen y cuantifiquen situaciones precisas, aproximándose al estado de cada nivel de conectividad, y así al estado general del eje o tramo a valorar.

#### **4.2. Sistema de indicadores básico para la aproximación hidromorfológica a los ejes de quebrada y su potencial de conectividad ecológica en el contexto de Medellín**

Los indicadores propuestos se dan en algunos casos a partir de referencias directas de otros estudios o metodologías analizadas, y en otros casos a partir de la adaptación de estos y del planteamiento propio de acuerdo con las condiciones presentadas según el contexto. Estos se organizan a partir de los niveles de conectividad planteados anteriormente para su valoración bajo el criterio de la conectividad ecológica.

Como primer paso se hace a continuación la propuesta de los diferentes indicadores, vinculándolos con cada uno de los niveles. Se identifica el nivel, los parámetros e indicadores a valorar, el tipo de indicador, su medición, y una aproximación a la información necesaria para su identificación y cuantificación. Algunos de estos indicadores serán presentados más adelante de forma más precisa.

**Tabla 22.** Propuesta de Sistema de indicadores para la aproximación hidromorfológica a los ejes hidrográficos en el contexto urbano según niveles de conectividad ecológica. Elaboración propia.

Niveles de conectividad	Parámetros e indicadores	Tipo		Medida	Información base necesaria
NCE_1	<b>COMPONENTE NATURAL</b>				
	01- Geometría del canal fluvial	simple	(CL)	descriptivo según metodología HIDRI	orto fotos ,bases GIS
	02- Variaciones en anchura y profundidad del canal fluvial	simple	(CL)	descriptivo según metodología HIDRI	trabajo de campo
	03- Caudal ecológico (ambiental)	simple	(CT)	Adaptación del método QPV según metdlg. HIDRI	caudales medios interanuales
	04- Calidad del recurso hídrico	sintetico	(CT)	monitoreo según índice ICA (para el caso Medellín)	índice ICA para quebradas
	<b>COMPONENTE FISICO ESPACIAL (INFRAESTRUCTURAS)</b>				
05- Grado de encauzamiento a lo largo del eje ó tramo	sintetico	(CT)	(índice) ml canalizados por tipo/ml totales	base GIS de la red hídrica modificada, y trabajo de campo para diferenciar tipo de canalización.	
06- Grado de cubrimiento de cauce a lo largo del eje ó tramo	sintetico	(CT)	(índice) ml cubiertos por tipo/ml totales	base GIS de la red hídrica modificada, y trabajo de campo para diferenciar tipo de canalización.	
NCE_2	<b>COMPONENTE NATURAL</b>				
	01- Tipo de valle fluvial	simple	(CL)	descriptivo	base GIS con capa de pendientes, y observación en campo.
	02- Grado de Permeabilidad ecológica del suelo a lo largo del eje ó tramo	sintetico	(CT)	(índice) m2 de suelo permeables vs m2 de suelo impermeables por tipo/m2 totales	orto fotos, base GIS con capa de ocupación de suelo hacia ejes de quebrada.
	03- Área libre sin artificialización a lo largo del eje ó tramo	simple	(CT)	(%) m2 área libre /m2 totales	orto fotos, base GIS con capa de ocupación de suelo hacia ejes de quebrada.
	04- Cobertura de vegetación riparia de bajo porte y sotobosque a lo largo del eje ó tramo	simple	(CT)	(%) m2 de masas vegetales de bajo porte/m2 de area libre sin artificializacion totales	orto fotos y trabajo de campo para identificar coberturas.
	<b>COMPONENTE FISICO ESPACIAL (INFRAESTRUCTURAS)</b>				
	05- Grado de Continuidad de márgenes a ambos lados del cauce	sintetico	(CT)	(índice) ml continuos por rango /ml totales	orto fotos
	06- Grado de ocupación de suelo en márgenes a lo largo del eje ó tramo	sintetico	(CT)	(índice) m2 de suelo ocupado por tipo/m2 totales	orto fotos, trabajo d ecampo, base GIS con capa de usos del suelo hacia ejes de quebrada.
	07- Grado de alteración Geomorfológica	sintetico	(CT)	según metodología de experto, partiendo del índice de naturalidad referenciado	orto fotos, base GIS con capa de pendientes, y observación en campo.
08- Presencia de barreras a lo largo del eje ó tramo	sintetico	(CT)	(índice) Nº de barreras por categoría /Kml	orto fotos, bases GIS con capa de la red viaria , y trabajo de campo para identificar por tipo.	
09- Grado de dispersión lineal de barreras a lo largo del eje ó tramo	"simple"	(CT)	variaza entre barreras ( $\sigma^2 = \sum ((ay - A) 2) / N$ )	base GIS con ubicación de barreras identificadas	
NCE_3	01- Estructura Vegetal de medio y alto porte a lo largo del eje ó tramo	simple	(CT)	(%) m2 de masas vegetales de medio y alto porte/m2 de area libre sin artificializacion totales	orto foto, bases GIS con capa de especies de alto porte.
	02- Continuidad longitudinal del arbolado a lo largo del eje ó tramo	simple	(CT)	(índice)(( $\sum Xml$ ) x 4/10)/ Xml TOTALES del eje ó tramo	orto foto, bases GIS con capa de especies de alto porte.
	03- Biodiversidad y calidad del arbolado	sintetico	(CT)	según metodología de experto,partiendo del índice QBR (calidad de la vegetacion)	especies arbóreas,

A continuación se señalan los indicadores a los que se les hará una aproximación más precisa, mientras que los que no se señalan, se dejan planteados algunos como de referencia directa, como es el caso de los vinculados en el nivel 1; en relación con la geometría del canal fluvial, el caudal ambiental y la calidad del recurso hídrico, y en el nivel 2; en relación con el tipo de valle fluvial, que en cada caso deberían ser adaptados para su valoración dentro de este sistema, y los demás que no se señalan, se plantea la necesidad de su profundización y desarrollo a partir de un criterio de experto.

**Tabla 23.** Selección de indicadores a desarrollar. Elaboración propia.

Niveles de conectividad	Parámetros e indicadores	Tipo		Medida	Información base necesaria
NCE_1	<b>COMPONENTE NATURAL</b>				
	01- Geometría del canal fluvial	simple	(CL)	descriptivo según metodología HIDRI	orto fotos ,bases GIS
	02- Variaciones en anchura y profundidad del canal fluvial	simple	(CL)	descriptivo según metodología HIDRI	trabajo de campo
	03- Caudal ecológico (ambiental)	simple	(CT)	Adaptación del método QPV según metdlg. HIDRI	caudales medios interanuales
	04- Calidad del recurso hídrico	sintetico	(CT)	monitoreo según índice ICA (para el caso Medellín)	índice ICA para quebradas
	<b>COMPONENTE FISICO ESPACIAL (INFRAESTRUCTURAS)</b>				
05- Grado de encauzamiento a lo largo del eje ó tramo	sintetico	(CT)	(índice) ml canalizados por tipo/ml totales	base GIS de la red hídrica modificada, y trabajo de campo para diferenciar tipo de canalización.	
06- Grado de cubrimiento de cauce a lo largo del eje ó tramo	sintetico	(CT)	(índice) ml cubiertos por tipo/ml totales	base GIS de la red hídrica modificada, y trabajo de campo para diferenciar tipo de canalización.	
NCE_2	<b>COMPONENTE NATURAL</b>				
	01- Tipo de valle fluvial	simple	(CL)	descriptivo	base GIS con capa de pendientes, y observación en campo.
	02- Grado de Permeabilidad ecológica del suelo a lo largo del eje ó tramo	sintetico	(CT)	(índice) m2 de suelo permeables vs m2 de suelo impermeables por tipo/m2 totales	orto fotos, base GIS con capa de ocupación de suelo hacia ejes de quebrada.
	03- Área libre sin artificialización a lo largo del eje ó tramo	simple	(CT)	(%) m2 área libre /m2 totales	orto fotos, base GIS con capa de ocupación de suelo hacia ejes de quebrada.
	04- Cobertura de vegetación riparia de bajo porte y sotobosque a lo largo del eje ó tramo	simple	(CT)	(%) m2 de masas vegetales de bajo porte/m2 de area libre sin artificializacion totales	orto fotos y trabajo de campo para identificar coberturas.
	<b>COMPONENTE FISICO ESPACIAL (INFRAESTRUCTURAS)</b>				
	05- Grado de Continuidad de márgenes a ambos lados del cauce	sintetico	(CT)	(índice) ml continuos por rango /ml totales	orto fotos
	06- Grado de ocupación de suelo en márgenes a lo largo del eje ó tramo	sintetico	(CT)	(índice) m2 de suelo ocupado por tipo/m2 totales	orto fotos, trabajo d ecampo, base GIS con capa de usos del suelo hacia ejes de quebrada.
	07- Grado de alteración Geomorfológica	sintetico	(CT)	según metodología de experto, partiendo del índice de naturalidad referenciado	orto fotos, base GIS con capa de pendientes, y observación en campo.
08- Presencia de barreras a lo largo del eje ó tramo	sintetico	(CT)	(índice) Nº de barreras por categoría /Kml	orto fotos, bases GIS con capa de la red viaria , y trabajo de campo para identificar por tipo.	
09- Grado de dispersión lineal de barreras a lo largo del eje ó tramo	"simple"	(CT)	variaza entre barreras ( $\sigma^2 = \sum ((ay - A) 2) / N$ )	base GIS con ubicación de barreras identificadas	
NCE_3	01- Estructura Vegetal de medio y alto porte a lo largo del eje ó tramo	simple	(CT)	(%) m2 de masas vegetales de medio y alto porte/m2 de area libre sin artificializacion totales	orto foto, bases GIS con capa de especies de alto porte.
	02- Continuidad longitudinal del arbolado a lo largo del eje ó tramo	simple	(CT)	(índice)(( $\sum Xml$ ) x 4/10)/ Xml TOTALES del eje ó tramo	orto foto, bases GIS con capa de especies de alto porte.
	03- Biodiversidad y calidad del arbolado	sintetico	(CT)	según metodología de experto,partiendo del índice QBR	especies arbóreas,

Se aclara a su vez que la base planteada podría ser complementada con otros indicadores que pudiesen considerarse como determinantes en las relaciones de conectividad ecológica de los ejes hidrográficos en el contexto urbano.

#### 4.2.1. Delimitación y zonificación de las áreas a valorar

Para poder cuantificar los indicadores planteados es necesario definir unos límites precisos como base para la aproximación hidromorfológica bajo el criterio de la conectividad ecológica.

Para esto, una delimitación tanto longitudinal como transversal es necesaria como punto de partida o regla de juego básica.

##### 4.2.1.1. Zonificación y delimitación longitudinal

De acuerdo con el contexto de esta investigación y partiendo del criterio de la conectividad ecológica en el contexto urbano, se plantea que la aproximación hidromorfológica debe partir de los componentes principales, que desde el perímetro urbano y hasta el eje principal del río, se configuran como ejes de conectividad, siendo estos los que permitieron, permiten o permitirían unas relaciones de conectividad mucho más complejas dentro de todo el sistema, y en relación con los ecosistemas estratégicos y las áreas de protección definidas desde el POMCA .

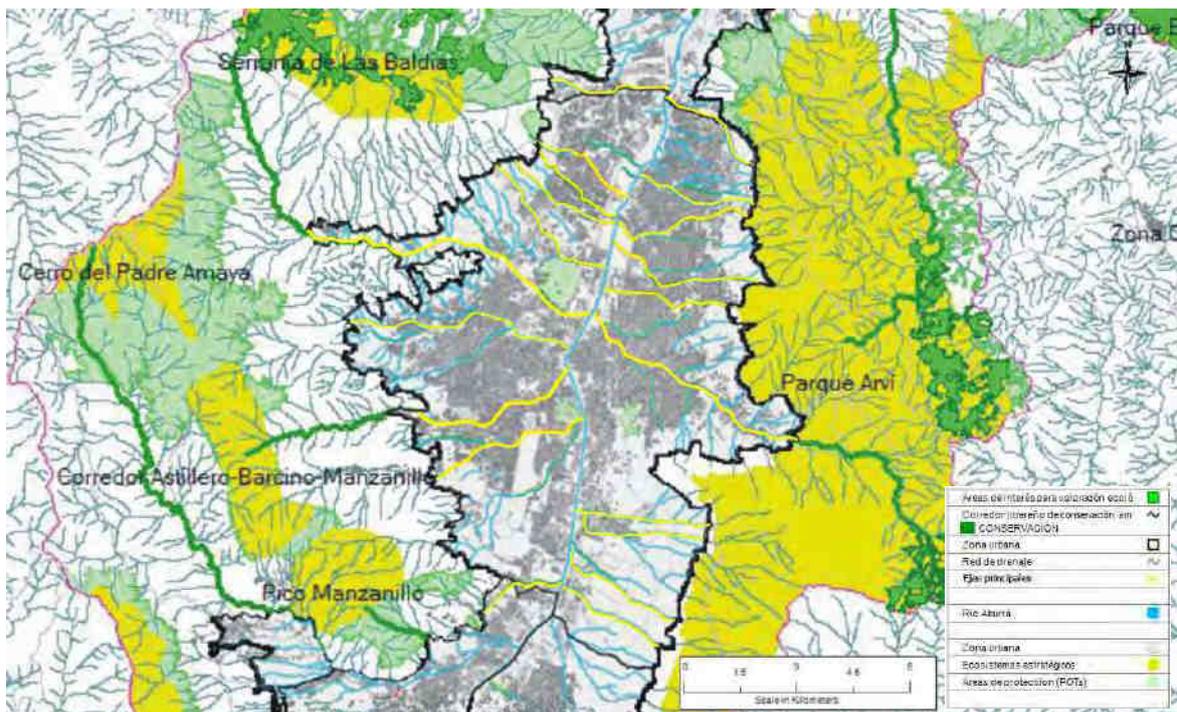
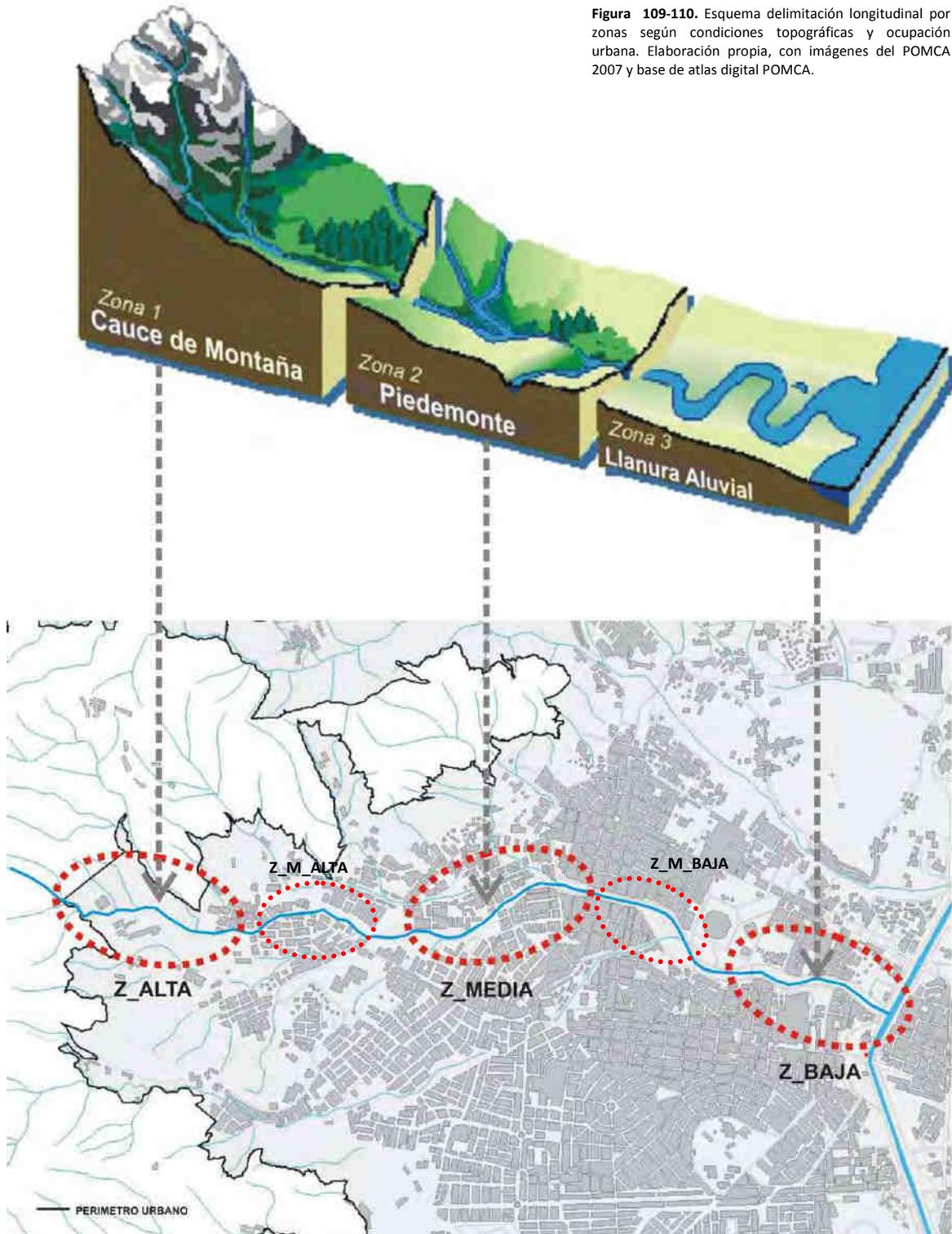


Figura 108. Identificación de ejes principales en relación con los ecosistemas estratégicos, áreas de conservación y protección. Elaboración propia con base de atlas digital POMCA.

De acuerdo con lo anterior y partiendo de un sistema hidrográfico claramente determinado por diferentes condiciones topográficas y relaciones urbanas; con morfologías y configuraciones diversas dentro del perímetro urbano, se plantea la necesidad de aproximarse a la situación de los ejes de quebrada que conforman el sistema, partiendo de la configuración topográfica donde se vinculan los ejes principales a partir de la delimitación de tres zonas principales a lo largo de los ejes.

Dependiendo de cada caso y dentro del perímetro urbano de la ciudad de Medellín, los ejes podrían estar vinculados a las tres zonas o al menos a dos de estas.

Figura 109-110. Esquema delimitación longitudinal por zonas según condiciones topográficas y ocupación urbana. Elaboración propia, con imágenes del POMCA 2007 y base de atlas digital POMCA.



**Z\_ALTA:** relaciones periurbanas, generalmente zonas de crecimiento disperso, y proceso de consolidación.

**Z\_MEDIA:** áreas consolidadas, presencia de infraestructuras y mayor presión por la urbanización con predominio de usos residenciales.

**Z\_BAJA:** presencia de infraestructuras de gran tamaño especialmente hacia las desembocaduras con el río, predominio de usos industriales y de servicios.

Podrían determinarse incluso otras sub zonas a modo de **z\_ media baja** y **z\_ media alta**, en el caso que fuese necesario valorar una mayor diversidad en las condiciones a lo largo de los ejes; especialmente en los de mayor longitud.

De acuerdo con lo anterior y reconociendo la dificultad para inventariar la totalidad del eje o ejes de interés; pero sin desconocer que lo ideal sería poder tener una valoración integral del eje o ejes de interés desde el perímetro urbano hasta su desembocadura con el río, se propone definir tramos y áreas específicas dentro de cada una de estas zonas, donde se pueda profundizar en la elaboración de estudios o complementación de los ya existentes, y valorar los niveles de conectividad por tramos, que permitirían determinar unas tendencias del eje en general , y del sistema hidrográfico en el contexto urbano; en tanto pudiera implementarse en la mayoría de ejes principales que lo conforman, logrando una visión sistémica de la situación.

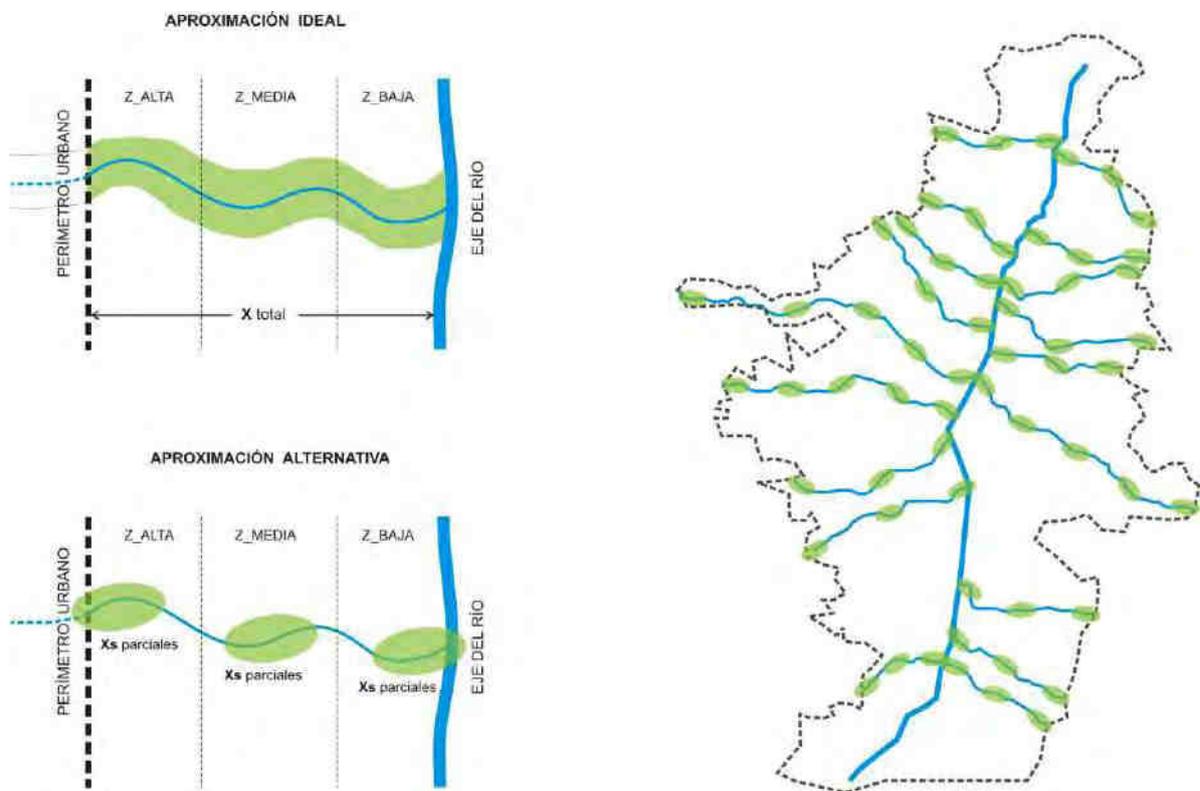


Figura 111. Esquemas de aproximación longitudinal para la valoración por zonas y tramos. Elaboración propia.

Sea cual fuese el caso, la aproximación por zonas es importante para el planteamiento futuro de estrategias de intervención más sostenibles hacia los ejes de quebrada, y del sistema en general bajo el criterio de la conectividad ecológica en el contexto urbano.

#### 4.2.1.1.1. Longitud de tramos y escala de aproximación

Como se planteó anteriormente, la valoración de los niveles de conectividad por tramos, aunque fragmenta la aproximación, pretende identificar las tendencias, y mantener una visión general de la situación de los ejes de quebrada y del sistema principal en el contexto urbano; ante la imposibilidad de una valoración continua.

Para determinar una longitud mínima de los tramos a valorar, es fundamental mantener el criterio de la conectividad ecológica, ya que en este caso una distancia mínima debe permitir la observación del mayor número de situaciones posibles dentro de cada zona.

Algunas metodologías como la del índice QBR, referenciada en el capítulo 2, plantea una valoración a partir de tramos de 200-300 m, sin embargo, como allí mismo se plantea:

*“Los índices QBR e IVF son herramientas muy útiles para evaluar la calidad de las riberas de tramos fluviales discretos a lo largo de un río pero no la calidad en continuo. Éste es un aspecto que hay que afrontar, ya que la valoración de la calidad de la ribera debe representar una visión integrada de la masa de agua”.*

Partiendo de esto se opta por determinar una longitud mínima pertinente, de acuerdo con el contexto del caso de estudio, y en función de las longitudes de los ejes existentes, de la siguiente forma:

1. Se identifican los ejes de quebrada principales que presenten longitudes que vayan desde el borde periurbano (borde virtual definido por el Plan de Ordenamiento Territorial POT) o fuera de este, hasta el eje del río Medellín (río Aburrá); afluentes directos, como se muestra en es siguiente figura:

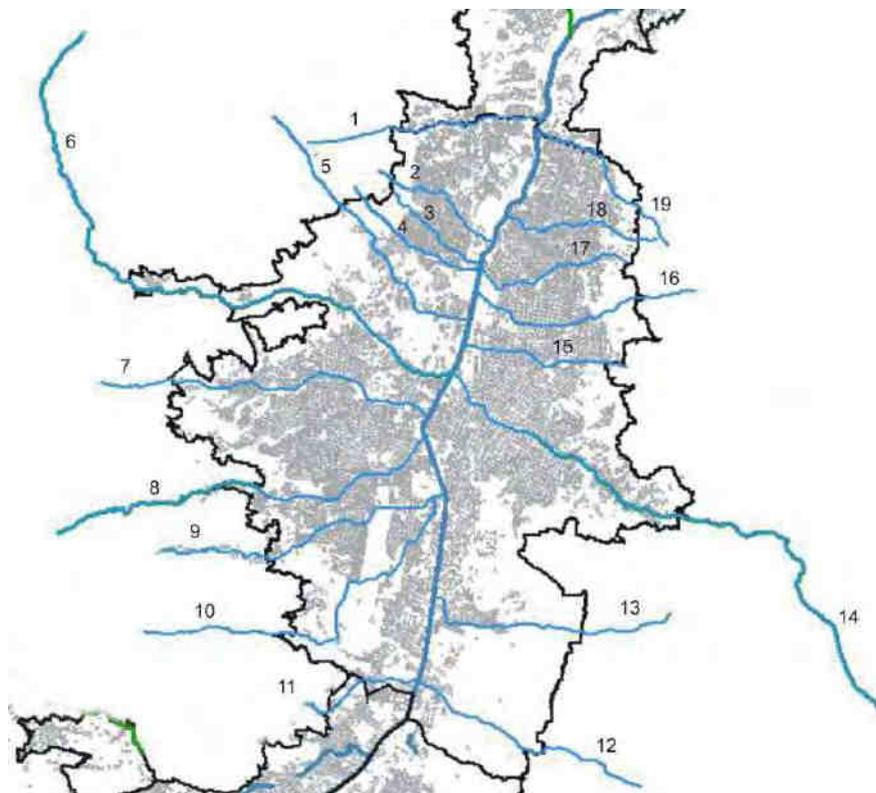


Figura 112. Identificación de ejes principales. Elaboración propia con base de atlas digital POMCA.

2. Luego se cuantifican las longitudes totales de los ejes, restándoles la longitud correspondiente que esta por fuera del perímetro urbano, quedando definida una distancia del eje a nivel urbano. Luego se Saca una media de las longitudes urbanas y se divide por 5 que corresponde con las 3 zonas y 2 sub-zonas planteadas.

Tabla 24. Identificación de ejes principales, sus longitudes en metros lineales y longitud de tramo mínimo a valorar. Elaboración propia

N.	NOMBRE QUEBRADA	LONGITUD TOTAL (m)	LONGITUD URBANA (m)	LONGITUD MEDIA (m)	LONGITUD MINIMA TRAMO
1	Q. La Madera	5571	3591	4550 / 5	910 = 1 km
2	Q. La Minita	3374	2982		
3	Q. La Cantera	2819	2819		
4	Q. Quintana	3629	3329		
5	Q. Malpaso	7098	4548		
6	Q. La Iguana	15866	8926		
7	Q. La Hueso	8245	6735		
8	Q. Aguas Frias o Picacacha	9912	6032		
9	Q. Altavista	7552	5088		
10	Q. La Guayabala	9241	6156		
11	Q. La Jabalcona	3044	2614		
12	Q. La Aguacatala	6077	3537		
13	Q. La Presidenta	6130	3993		
14	Q. Santa Helena	14372	7122		
15	Q. El Ahorcado	3921	3921		
16	Q. La Chorrera	5602	4422		
17	La Bermejala	4033	4033		
18	Q. La Rosa	3847	3375		
19	Q. La Seca	4529	3229		

Queda definida así una longitud mínima de tramo = 1 Km lineal, siguiendo la geometría del eje, para la valoración de los niveles de conectividad ecológica en el contexto urbano de la ciudad de Medellín.

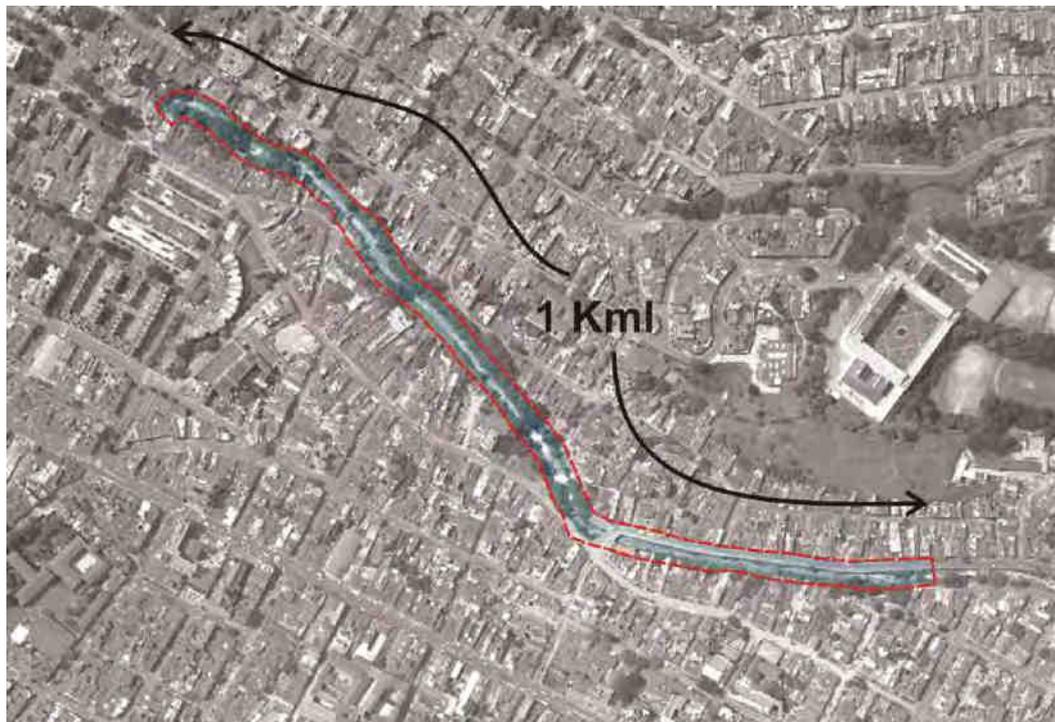


Figura 113. Esquema de tramo mínimo a valorar, ejemplo sobre aerofoto de la quebrada santa Elena. Elaboración propia.

### - Escala de aproximación

Partiendo del hecho que la conectividad ecológica se puede valorar dependiendo de la escala de aproximación, es importante definir ésta, para identificar adecuadamente las situaciones que se dan en el contexto urbano bajo el criterio de la conectividad.

Como se ha enunciado en los capítulos anteriores, las aproximaciones al tema de la conectividad ecológica, y del estado de naturalidad de los sistemas hidrográficos, se han hecho en general a nivel territorial bajo una visión macro, con escalas de aproximación bastante amplias.

En este caso, al plantearse una aproximación a partir de unos niveles de conectividad desde los componentes del sistema hidrográfico vinculados al contexto urbano (ejes de quebrada), es necesario hacer un zoom mas específico, ya que se requiere valorar parámetros específicos bajo una visión micro sistémica, que permita plantear estrategias de intervención más sostenibles, para la rehabilitación ecológica de estos ejes, lo que requeriría una mirada casi al mismo nivel de proyectación correspondiente a una escala de diseño urbano.

De acuerdo con lo anterior, se plantea una aproximación a partir de un zoom en escala 1:500, partiendo de bases planimetrías digitales a escalas superiores y complementadas con levantamientos en sitio y Fotointerpretación de ortoimágenes a escala 1:500

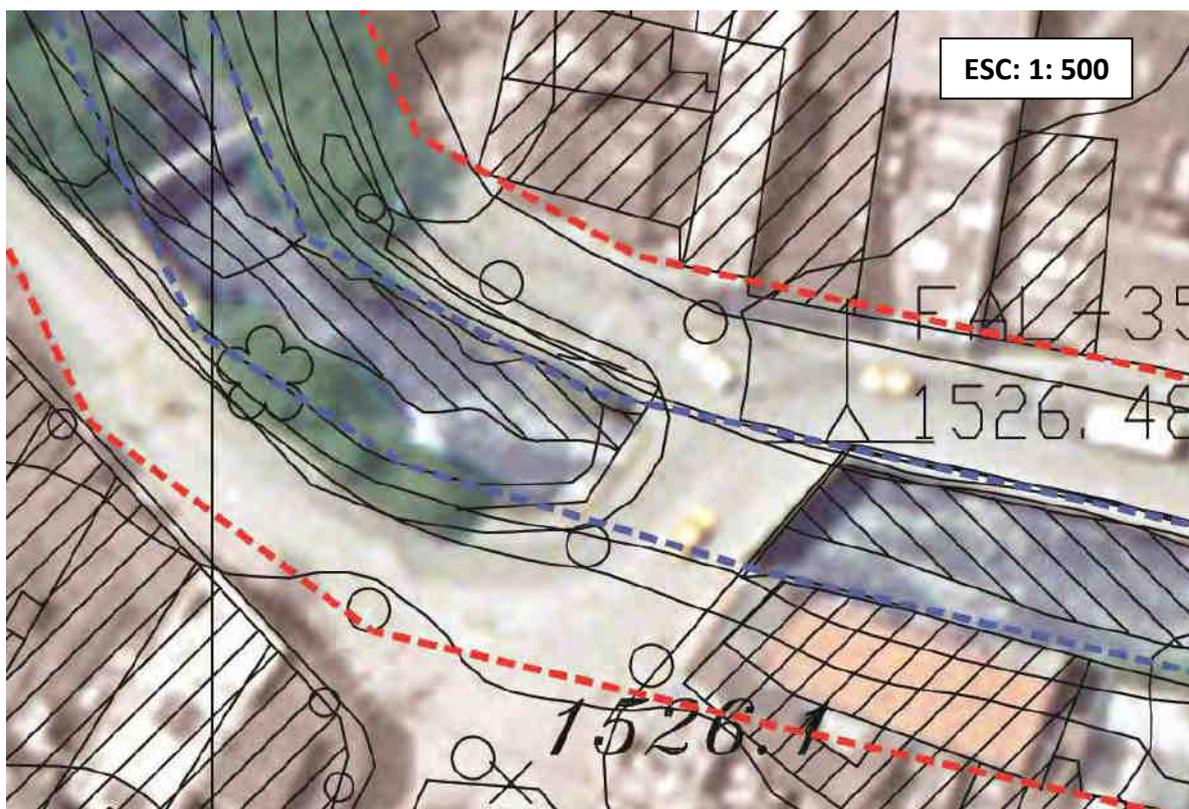


Figura 114. Esquema de escala de aproximación propuesta (1:500). Elaboración propia con base plano sigma y aerofoto sobre quebrada Santa Elena.

#### 4.2.1.2. Delimitación Transversal (retiros)

Esta se define a partir de las zonas de retiros delimitadas de acuerdo con las condiciones hidromorfológicas dadas en los cuerpos de agua.

En el contexto de la ciudad de Medellín y de acuerdo con los planteamientos hechos desde el Plan de Ordenamiento territorial (POT), el POMCA y los PIOMS, se parte de la siguiente base:

*“Mientras no existan los Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca o Microcuenca (POMCA-PIOMS) debidamente aprobados por la Autoridad Ambiental correspondiente, las fajas de retiros a corrientes naturales de agua están constituidas por un mínimo de diez (10) metros horizontales de retiro a partir del borde superior del cauce natural ó cañón. Cuando existan los POMCA debidamente aprobados por la Autoridad Ambiental correspondiente, las fajas de retiro a corrientes naturales, serán las indicadas por estos planes. En los primeros diez (10) metros, se podrán constituir las servidumbres a favor del Municipio de Medellín y de la entidad que preste los servicios públicos para la conducción de redes, para la conservación y mantenimiento de las corrientes de agua; estos retiros no se podrán incluir dentro del cerramiento de los inmuebles”<sup>48</sup>.*

Desde el POMCA 2007, la definición de las zona de retiro se dio a partir del documento “Zonificación ambiental y metodología para la definición de zonas de retiro a corrientes”, elaborado por la Universidad Nacional de Colombia, Seccional de Medellín, en el marco del Convenio de cooperación No 652 de 2005 para el “Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Aburrá (POMCA)”

De acuerdo con lo planteado en el POMCA 2007 y otras aproximaciones analizadas a partir de algunos PIOMS, El retiro total (RT) se plantea, como la suma de retiros hidrológicos y geotécnicos; que se asocian a la dinámica de las corrientes, y de otros por consideraciones de tipo urbanístico y de servicio. Estas franjas se conforman a partir de cuatro criterios: el hidrológico (RI), el geológico (RG), el de vegetación de ribera (RB) y el de instalación de redes de servicios (RS), y comienzan a medirse a partir del cauce considerado por un TR= 10 años.

Quedando definidos así:

**RI-R1**= Retiro hidrológico en relación con la capacidad hidráulica dada por el Tr= 100 años.

**RG-R2**= Retiro geológico en relación con la estabilidad de márgenes y taludes de acuerdo con inclinaciones naturales que son susceptibles a movimientos en masa, medido desde el TR=10 años.

**RB-R4**= Retiro de vegetación de ribera en relación con el planteamiento de los parques lineales de quebrada - fajas para zonas ornamentales y recreación pasiva.

**RS-R3**= Zona de servicios regional - fajas para la extensión de redes de servicios públicos

**R5**= zona de circulación - zona para vías vehiculares o peatonales

---

<sup>48</sup> Artículo 20 , Acuerdo 046 del 2006 POT Medellín p.10-11



Figura 115. Sección transversal y franjas de retiro a corrientes hídricas. Fuente: POMCA 2007.

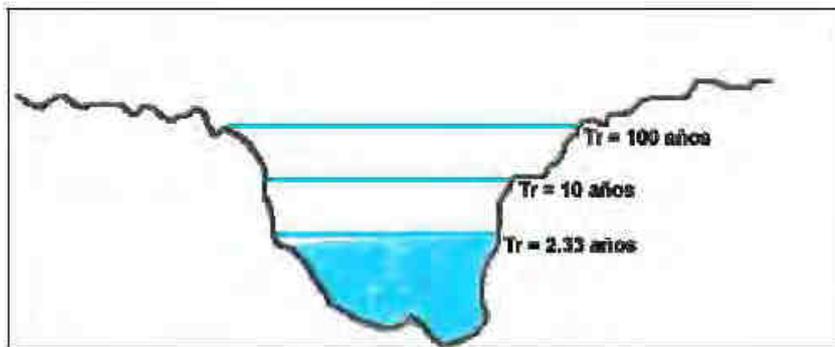


Figura 116. Definición de cauce dominante. Fuente: POMCA 2007.

Sin embargo, la realidad urbana presenta un escenario bastante complicado debido a la constante ocupación de los retiros, no solo por los asentamientos subnormales sino de forma mucho más grave, por las infraestructuras viales y demás procesos de antropización hacia los cauces, dados desde la “legalidad”, y que han configurado diferentes situaciones que hay que tener en cuenta para poder definir los espesores de las franjas a valorar bajo el criterio de la conectividad ecológica.

A su vez se ve la necesidad de definir estas franjas de forma más específica de acuerdo con situaciones dadas, tratando de regularizar estos retiros a unos mínimos (espesores mínimos), que permitan una aproximación hidromorfológica más acotada y una cuantificación más específica bajo el criterio de la conectividad ecológica, para el planteamiento futuro de estrategias de intervención más sostenibles bajo este mismo criterio, lo más aproximadas a la realidad y a las posibilidades del contexto urbano.

De acuerdo con esto y para poder cuantificar el sistema de indicadores planteado, se parte tanto de lo propuesto por el POMCA 2007 y presentado anteriormente, como de algunos de los planteamientos dados en el índice QBR para la delimitación de las riveras, referenciado en el capítulo 2, y que básicamente resume lo siguiente:

*Las zonas que queden a una elevación superior a 5 m por encima de la cota de las máximas crecidas Ordinarias (dominio público hidráulico) serán excluidas.*

*La zona de ribera a considerar tendrá siempre una anchura mínima de 10 metros a cada lado del límite de máximas crecidas ordinarias (zona del dominio público hidráulico).*

A continuación se plantean algunas situaciones básicas donde se definen los retiros requeridos para hacer la respectiva aproximación, cuantificación y valoración en el contexto de Medellín:

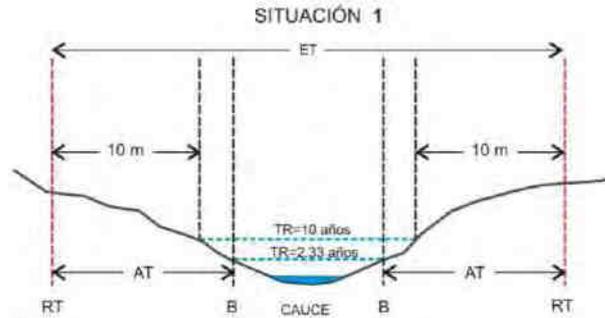


Figura 117. Esquema 1, definición de espesores totales (ET) a valorar. Elaboración propia

En condiciones normales de bajas y medias pendientes, el retiro total (RT) a ambos lados del eje, queda definido por 10 m a partir del cauce dado por un  $Tr=10$  años, y el ancho total a valorar (AT) desde el borde (B) dado por el  $Tr=2.33$  años hasta los 10 m definidos, quedando así establecido el espesor total (ET).

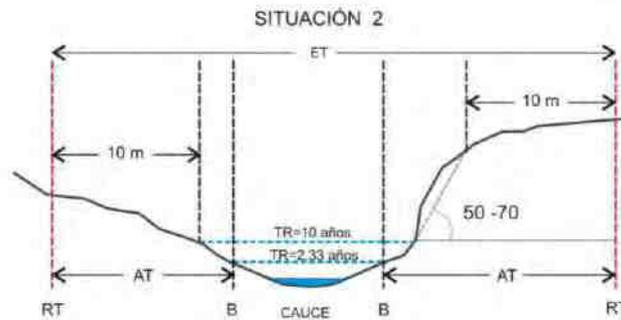


Figura 118. Esquema 2, definición de espesores totales (ET) a valorar. Elaboración propia

Cuando se presenten zonas de amenaza media por movimientos en masa, generalmente en relación con las altas pendientes y cauces encañonados, el retiro total (RT); de acuerdo con el POMCA 2007, se considerara a partir de una superficie de falla teórica de los taludes que conforman el cauce ( $Tr=10$  años) con una inclinación de  $50^\circ$  a  $70^\circ$  respecto a la horizontal, a partir de donde se consideraran 10 m mas , quedando definido el ancho total (AT) desde el borde (B)( $Tr=2.33$  años) , quedando así establecido el espesor total (ET).

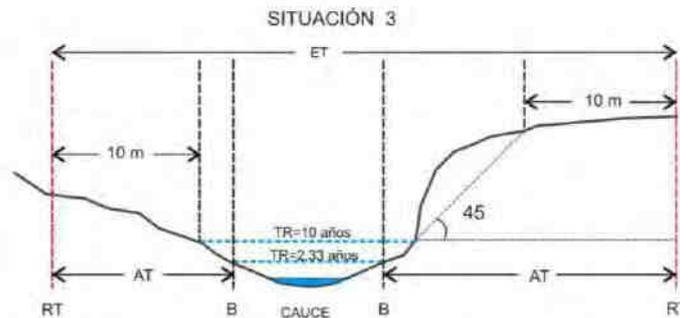


Figura 119. Esquema 3, definición de espesores totales (ET) a valorar. Elaboración propia

Al igual que la situación anterior pero en condiciones de amenaza alta por movimientos en masa se considera a partir de una superficie de falla teórica con una inclinación de  $45^\circ$  respecto a la horizontal del cauce ( $Tr=10$  años), a partir de donde se consideraran 10 m mas, quedando definido el ancho total (AT) desde el borde (B)( $Tr=2.33$  años) , quedando así establecido el espesor total (ET).

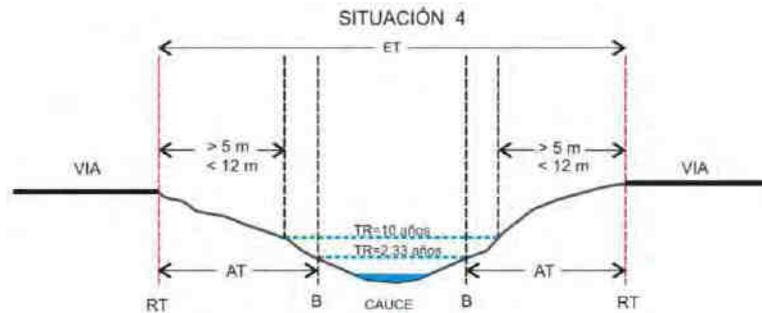


Figura 120. Esquema 4, definición de espesores totales (ET) a valorar. Elaboración propia

En condiciones normales de medias y bajas pendientes, y cuando existan infraestructuras viales a uno o ambos lados del eje de quebrada, y la distancia entre el cauce ( $Tr=10$  años) y el borde de la vía sea mayor de 5 m y menor de 12 m, el borde de la vía será el límite del retiro total (RT), definiéndose el ancho total (AT) desde el borde (B) ( $Tr=2.33$  años) hasta el borde de vía, quedando así establecido el espesor total (ET).

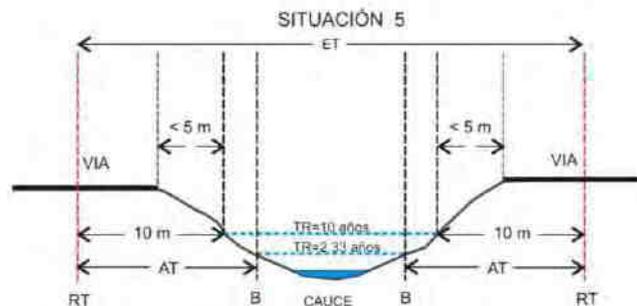


Figura 121. Esquema 5, definición de espesores totales (ET) a valorar. Elaboración propia

Al igual que la situación anterior, pero cuando la distancia entre el cauce ( $Tr=10$  años) y el borde de la vía sea menor de 5 m, el retiro total (RT) conservará los 10 m, definiéndose el ancho total (AT) desde el borde (B) ( $Tr=2.33$  años) hasta el RT, vinculando así la vía o parte de esta dentro del área a valorar.

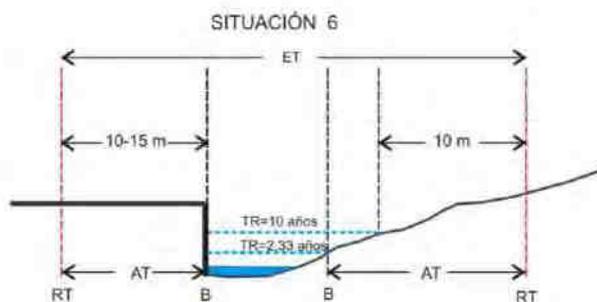


Figura 122. Esquema 6, definición de espesores totales (ET) a valorar. Elaboración propia

Cuando existan canalizaciones de cauce que contengan el  $Tr=10$  años, el retiro total (RT) se medirá a partir del borde del canal hasta 10 a 15 m; dependiendo de la situación específica en relación con la situación del tramo anterior y la continuidad entre ambos tramos, siendo esta misma distancia el ancho total (AT) a valorar, quedando así establecido el espesor total (ET).

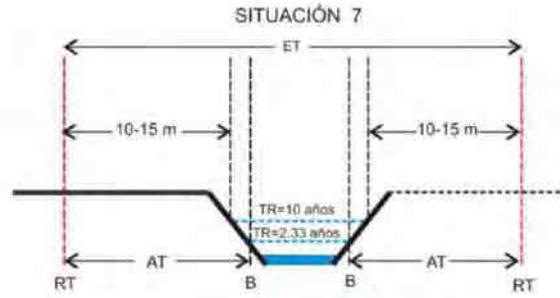


Figura 123. Esquema 7, definición de espesores totales (ET) a valorar. Elaboración propia

Al igual que la situación anterior, y en condiciones de canalizaciones inclinadas hacia el cauce que contengan el  $Tr=10$  años, el retiro total (RT) se medirá desde el cauce ( $Tr=10$  años) hasta 10 a 15 m; dependiendo de la situación específica en relación con la situación del tramo anterior y la continuidad entre ambos tramos. Definiéndose el ancho total a valorar (AT) desde el borde (B) ( $Tr=2.33$  años) hasta el RT, quedando así establecido el espesor total (ET).

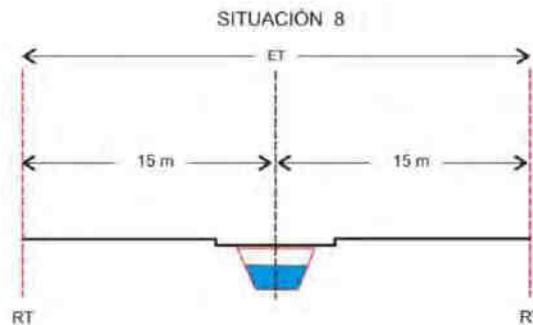


Figura 124. Esquema 8, definición de espesores totales (ET) a valorar. Elaboración propia

En condiciones de cobertura de los cauces en tramos continuos, el retiro total (RT) se mide a partir del eje por donde circula el cuerpo de agua oculto, dejando 15 m a ambos lados, quedando así establecido el espesor total (ET).

Se aclara que las anteriores son aproximaciones a posibles situaciones de acuerdo con el contexto de interés, pero que la compleja realidad podría plantear algunas otras más específicas, que deberían tratar de vincularse con alguna de las aquí planteadas.

A su vez como se evidencia, el planteamiento propuesto para definir estas franjas o retiros, requeriría la elaboración de modelaciones hidráulicas para cada eje o tramo a valorar.

### 4.3. Aproximación a los Parámetros e indicadores básicos

A continuación se desarrollan los indicadores seleccionados de acuerdo con las tablas del sub capítulo 4.2, en relación con los niveles de conectividad planteados. Para su desarrollo y propuesta de valoración, en algunos casos se tienen en cuenta algunas referencias directas de metodologías presentadas en los capítulos anteriores o adaptación de las mismas, y en otros casos aunque son propuestas propias, parten de criterios basados en lógicas relacionadas con lo aprendido y conceptualizado en el proceso de esta investigación, sin embargo, esta aproximación queda abierta para su revisión y complementación.

Cada uno de los indicadores se organiza a partir de cuatro puntos principales: la relevancia ambiental y contextualización, el objetivo u objetivos, una definición del indicador, y por ultimo un parámetro o escala de evaluación. Ésta escala, de acuerdo con cada caso, busca unificarse en cuatro rangos de un potencial de conectividad ecológica Alto (A) ■, Medio (M) ■, Bajo (B) ■, Casi Nulo (CN) ■.

### 4.3.1. Grado de encauzamiento a lo largo del eje ó tramo (1.05.)

#### **Relevancia ambiental**

Un estado natural del sustrato y de la estructura del cauce y sus riberas permite la auto regulación del sistema y su estabilidad en situaciones de altas crecidas, generando a su vez unas condiciones que permiten la continuidad de los intercambios ecológicos tanto longitudinal como transversalmente.

Dentro del contexto urbano, aunque por mucho tiempo se pensó en que la solución a los problemas de las avenidas era la implementación de sistemas pesados y rígidos, se ha demostrado que estos por el contrario potencializan los problemas asociados a las altas escorrentías, en tanto fragmentan los intercambios ecológicos de los sistemas hidrográficos presentes al interior de la ciudad.

La realidad socio-cultural y física espacial actual en el contexto de Medellín, presenta situaciones que comprometen la seguridad de muchas comunidades, donde estas estructuras en algunos casos entran a condicionar la estabilidad de asentamientos subnormales. Pero en tanto puedan irse tomando medidas para la evacuación de los cauces y márgenes de quebrada, como se ha comenzado a hacer en algunos casos, estas estructuras podrían replantearse, y en tanto no sea posible se deberían vincular dentro de alternativas para la rehabilitación de los cauces, permitiendo mejorar los niveles de conectividad.

#### **Objetivo**

Medir y valorar la presencia de las estructuras de canalización hacia los cauces, de acuerdo con el tipo de estructura, y el porcentaje de estas presente a lo largo del eje o tramo.

#### **Definición del indicador**

Tomando como referencia directa el indicador **Grado de alteración del canal fluvial**, planteado desde el Protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos, Elaborado por la agencia catalana del agua en 2006 y referenciado en el capítulo 2, se proponen los siguientes pasos a seguir:

1. Determinar los metros lineales (ml) canalizados a lo largo del eje o tramo, vinculándolos a alguno de los siguientes tipos y asignándole los coeficientes respectivos:

- **Mota:** compactación de tierra al margen del río. **(0.2)**
- **Escollera:** obra hecha de grandes piedras. **(0.5)**
- **Gavión:** piedras de tamaño medio y grava incluidas dentro de una malla. **(0.5)**
- **Muro:** pared gruesa lateral al río. **(0.8)**
- **Muro en U:** pared gruesa lateral al río y lecho del río hormigonado. **(1.0)**

Se tendrá en cuenta el encauzamiento según si afecta a una o a ambas riberas (si afecta a las dos riberas se computará como dos veces la longitud del encauzamiento).

2. Se aplica la siguiente fórmula:

$$GDE = \frac{\sum (\text{longitud\_encauzamiento} \times \text{coeficiente})}{\text{longitud total eje ó tramo}}$$

### **Parámetros de evaluación**

La valoración de este indicador se ciñe a los valores de calidad planteados desde el protocolo referenciado, ya que se considera que estos pueden servir como base independientemente del contexto.

Los cinco niveles planteados desde el protocolo se adaptan a los cuatro propuestos: Alto (**A**), Medio (**M**), Bajo (**B**) y Casi Nulo (**CN**)

En este caso el nivel (**A**) se relaciona con un bajo grado de encauzamiento a lo largo del eje o tramo, mientras que el nivel (**B**) ó (**CN**) con un alto grado. Definiéndose a partir de la siguiente tabla:

**Tabla 25.** Escala de valoración para indicador 1.05. Elaboración propia

NCE_1	Rango	Potencial de conectividad	Color
1.05.	0,1 – 0,2	ALTO	(A)
	0,2 – 0,3	MEDIO	(M)
	0,3 – 0,4	BAJO	(B)
	> 0,4	CASI NULO	(CN)

### 4.3.2. Grado de cubrimiento de cauce a lo largo del eje ó tramo (1.06.)

#### **Relevancia ambiental**

Los cuerpos de agua cumplen un papel fundamental dentro del ciclo hidrológico. La permanencia de estos cuerpos garantiza la regulación de los sistemas hidrográficos, la estabilidad en las condiciones ambientales (microclimas), la distribución equilibrada del recurso y la recarga de los acuíferos.

En el contexto urbano, el crecimiento desmesurado por lo general ha sometido los sistemas hidrográficos hasta el punto de esconderlos bajo las infraestructuras que las ciudades implican, desarticulando las funciones ecológicas de los ejes que conforman el sistema y causando graves problemas en los momentos de las lluvias torrenciales.

Las condiciones del sistema hidrográfico donde se asienta la ciudad de Medellín Vs los procesos de crecimiento urbano a lo largo de la corta historia de la ciudad, han fragmentado el sistema natural base argumentando cuestiones sanitarias, de vulnerabilidad, y necesidades de movilidad vehicular. En la actualidad un visión integral de los procesos ecológicos dentro del contexto urbano reclama estrategias para recuperar las condiciones ecológicas de los sistemas base, partiendo del marco de la biodiversidad urbana, y es esta situación específica (el cubrimiento) , la que mas dificultaría cumplir con este objetivo ,sin embargo, se cree importante plantear una valoración que tenga en cuenta el potencial ante posibles rehabilitaciones ambientales de los ejes principales que conforman el sistema.

#### **Objetivo**

Medir y valorar la presencia de las infraestructuras de cubrimiento hacia los ejes de quebrada, de acuerdo con el tipo de cobertura, y su potencial ante una posible rehabilitación a lo largo del eje o tramo.

#### **Definición del indicador**

Para este indicador no se tiene una referencia directa de otra metodología, por lo que se plantea la siguiente:

1. Determinar los metros lineales (ml) cubiertos a lo largo del eje o tramo, vinculándolos a alguno de los siguientes tipos o situaciones existentes, y asignarle los coeficientes respectivos:

- **Cubrimiento parcial sobre cauce:** por cruce en sentido transversal del eje > a 4 m y < de 30 m de ancho, y cuyo nivel de estructura inferior este a menos de 2 m desde la línea virtual horizontal del retiro total (RT).

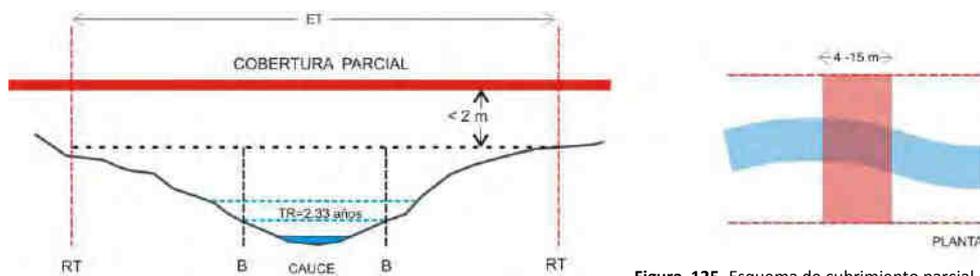


Figura 125. Esquema de cubrimiento parcial. Elaboración propia

Esta situación generalmente está dada por los cruces viales, y que dependiendo de cada caso permitiría estrategias de rehabilitación más factibles dentro de la conformación urbana (**0.5\***)

- **Cubrimiento continuo sobre cauce:** considerándose a partir de los 30 m de ancho, se dan generalmente a partir de vías ó plataformas que siguen el recorrido del cauce implementando box culverts.

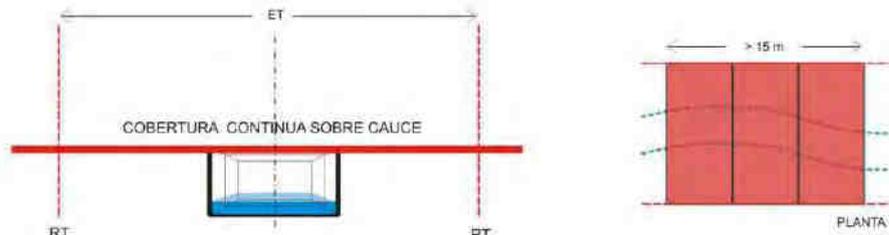


Figura 126. Esquema de cubrimiento continuo. Elaboración propia

Las condiciones ecológicas han desaparecido totalmente y sus posibilidades de rehabilitación son complicadas (**0.7\***)

- **Cubrimiento continuo con entubamiento a profundidad:** generalmente en áreas con drásticas transformaciones de los sistemas naturales a causa de la urbanización para el desarrollo de vías o equipamientos en la parte superior.

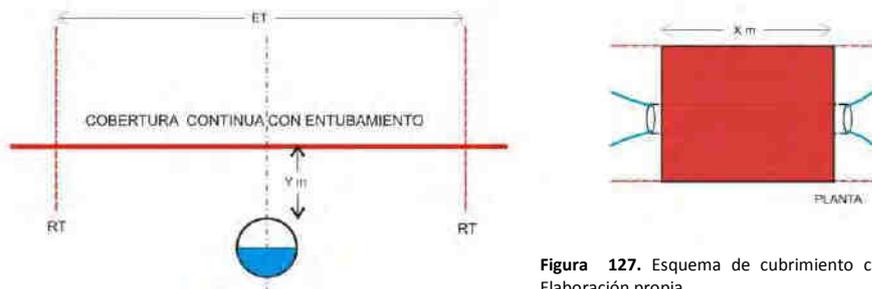


Figura 127. Esquema de cubrimiento con entubamiento. Elaboración propia

Las condiciones ecológicas han desaparecido totalmente y sus posibilidades de rehabilitación son casi nulas (**1.0\***)

\* Los coeficientes definidos responden a un criterio propio teniendo en cuenta la potencialidad de cada situación ante una posible rehabilitación ecológica.

2. Se aplica la siguiente fórmula:

$$GDC = \frac{\sum (\text{longitud\_cubrimiento} \times \text{coeficiente})}{\text{longitud total eje ó tramo}}$$

### **Parámetros de evaluación**

Ya que no se encontró una referencia directa para la valoración de este tipo de situaciones, se parte de que la cobertura de los cauces es la situación que mas compromete las relaciones de conectividad ecológica, por lo que se plantea una escala que aproxima y reduce los rangos del indicador anterior penalizando mas dicha situación.

En este caso el nivel **(A)** se relaciona con un bajo grado de cobertura a lo largo del eje o tramo, mientras que el nivel **(B)** ó **(CN)** con un alto grado. Definiéndose a partir de la siguiente tabla:

**Tabla 26.** Escala de valoración para indicador 1.06. Elaboración propia

NCE_1	Rango	Potencial de conectividad	Color
1.06.	0 – 0,1	ALTO	(A)
	0,1 – 0,2	MEDIO	(M)
	0,2 – 0,3	BAJO	(B)
	> 0,3	CASI NULO	(CN)

### **Indicador relacionado**

4.3.9. Grado de dispersión lineal de barreras a lo largo del eje o tramo

## NCE\_2

### **4.3.3. Grado de permeabilidad ecológica del suelo a lo largo del eje ó tramo (2.02.)**

#### ***Relevancia ambiental***

Un alto grado de permeabilidad en las superficies que conforman la ribera y márgenes de los cuerpos de agua, garantizan la continuidad de los procesos biológicos y ecológicos que allí se dan, controlando y regulando a su vez los aportes por escorrentía.

El cambio en los usos del suelo dado por los procesos de urbanización ha perturbado considerablemente las superficies base de los sistemas naturales en el contexto urbano. Y en relación con las márgenes fluviales, la ocupación de las mismas; por diferentes infraestructuras y/o diversas apropiaciones, artificializan en mayor o menor grado los ejes que conforman el sistema.

La ocupación de los cauces y sus márgenes en el contexto de la ciudad de Medellín se da tanto por asentamientos subnormales dados a partir de problemáticas socio-económicas bastante complicadas, como por el desarrollo de infraestructuras viales y equipamientos planteados incluso desde la “legalidad”, y que en general han alterado la permeabilidad del suelo en relación con los ejes de quebrada. La reubicación de dichos asentamientos y los procesos de rehabilitación ecológica hacia estas áreas; en tanto vaya siendo posible, permitiría ir mejorando los niveles de permeabilidad, a su vez es necesaria una regulación que controle el desarrollo de proyectos viales en relación directa con los cauces y las márgenes fluviales, como incluso el replanteamiento y desmonte de algunas existentes, en tanto sea posible.

#### ***Objetivo***

Valorar el grado de permeabilidad ecológica del suelo en las riberas y márgenes fluviales en relación con los tipos de ocupación y composiciones del suelo que allí se den.

#### ***Definición del indicador***

Este indicador relaciona conceptos y metodologías tanto del índice biótico del suelo presentado en el subcapítulo 2.1, como del índice de naturalidad presentado en el subcapítulo 2.3

Para este caso se opta por delimitar las categorías, de acuerdo con la ocupación y los tipos de suelo dados hacia los ejes de quebrada, asignando los coeficientes de acuerdo con el grado de permeabilidad y naturalidad del suelo planteados desde el índice biótico del suelo, sin embargo se aclara que esta categorización podría en un momento dado ser aun mas específica si se tuviera un inventario más exacto de los tipos de suelo dados, valorándose a partir de coeficientes mucho más específicos para cada caso según la referencia del índice de naturalidad.

Se plantean los siguientes pasos:

- 1.** Determinar los metros cuadrados (m<sup>2</sup>) por tipo de suelo a lo largo del eje o tramo, vinculándolos a alguna de las siguientes categorías y asignándole los coeficientes respectivos:

- **Suelos con superficies permeables:** caracterizados por encontrarse en condiciones naturales y sin compactar, presentan vegetación y diferentes tipos de coberturas vegetales o posibilidades para que estas se den, y permiten las diferentes funciones biológicas. **(1.0)**

- **Suelos con superficies semipermeables:** aunque no mantienen sus condiciones naturales, estos mantienen de forma parcial las funciones básicas, pero en general han perdido total o parcialmente sus funciones biológicas. Como tal son superficies que permiten el paso del aire y del agua. **(0.5)**

- **Suelos impermeables:** presentan superficies por lo general rígidas donde no es posible que se den las funciones biológicas. En esta categoría se encuentran las ares edificadas. **(0)**

2. Se aplica la siguiente fórmula:

$$GDPEs = \sum (\text{área superficie} \times \text{coeficiente}) / \text{área total a valorar (AT*) del eje ó tramo}$$

\* El área total (AT) es la definida desde el borde (B) hasta el retiro total (RT) a ambos costados del eje, desvinculando el área del cauce a partir del  $Tr=2.33$  años; de acuerdo con los criterios de delimitación transversal planteados.

### Parámetros de evaluación

La valoración de este indicador parte del análisis de los valores dados desde el índice biótico del suelo, pero en este caso no asumen estos directamente, ya que los valores que allí se dan, se plantean para el contexto urbano en general previendo la presencia de un nivel de artificialización mayor permisible al que se debería permitir específicamente hacia un eje de quebrada, por sus mismas condiciones como suelo de protección.

Por tal razón se opta por invertir los valores mínimos allí planteados adaptándolos a la escala propuesta: Alto **(A)**, Medio **(M)**, Bajo **(B)**, Casi Nulo **(CN)**

En este caso el nivel **(A)** se relaciona con un alto grado de permeabilidad ecológica del suelo a lo largo del eje o tramo, mientras que el nivel **(B)** ó **(CN)** con un bajo grado. Definiéndose a partir de la siguiente tabla:

Tabla 27. Escala de valoración para indicador 2.02. Elaboración propia

NCE_2	Rango	Potencial de conectividad	Color
2.02.	> 0,7	ALTO	(A)
	0,5 – 0,7	MEDIO	(M)
	0,2 – 0,5	BAJO	(B)
	< 0,2	CASI NULO	(CN)

## NCE\_2

### 4.3.4. Área libre sin artificialización a lo largo del eje ó tramo (2.03.)

#### **Relevancia ambiental**

Mantener las márgenes fluviales como áreas libres; de protección ambiental, es necesario para garantizar los procesos de conectividad ecológica entre los diferentes componentes naturales del pasaje (sistema natural).

En el contexto urbano las márgenes fluviales se han visto alteradas y artificializadas por los procesos de urbanización, y las áreas libres que aún permanecen por lo general han simplificado sus funciones ecológicas debido a los procesos de fragmentación.

En el caso de la ciudad de Medellín estas áreas son reductos del sistema natural base o áreas residuales a partir de los procesos de ocupación del suelo hacia las márgenes, tanto ilegales; por asentamientos subnormales, como “legales” por infraestructuras viales y equipamientos. La identificación y valoración de estos fragmentos son importantes para la definición de estrategias de conectividad en los ejes de quebrada y del sistema hidrográfico en general.

#### **Objetivo**

Valorar la presencia de las áreas libres sin artificialización hacia las márgenes a lo largo del eje o tramo.

#### **Definición del indicador**

Es un indicador simple que mide como tal la presencia de las áreas libres ó área libre total sin artificialización, independientemente de su conformación, grado de cobertura vegetal, o alteración geomorfológica, es decir áreas que tienen un potencial alto para una rehabilitación ecológica, y que generalmente presentan una cobertura vegetal básica o suelo permeable.

Se plantean los siguientes pasos:

1. partiendo del área total (AT) a valorar, determinar los m<sup>2</sup> de las áreas edificadas, las superficies de las infraestructuras viales, y las superficies duras consolidadas. El área restante será considerada como el área libre sin artificialización.



Figura 128. Esquema de área libre sin artificialización. Elaboración propia

2. La cuantificación se da a partir de la siguiente fórmula:

$$ALSA = AT - a.edif - a.supvial - a.supdcs / \text{área total a valorar (AT*) del eje ó tramo}$$

\* El área total (AT) es la definida desde el borde (B) hasta el retiro total (RT) a ambos costados del eje, desvinculando el área del cauce a partir del  $T_r=2.33$  años; de acuerdo con los criterios de delimitación transversal planteados.

### **Parámetros de evaluación**

Para este caso se plantea una escala simple de valoración a partir del porcentaje de superficie de área libre sin artificialización, teniendo como referencia la escala de valoración planteada desde el índice QBR en su bloque : Grado de cobertura de ribera, y referenciado en el capítulo 2.

El criterio de valoración planteado es el siguiente:

**Tabla 28.** Escala de valoración para indicador 2.03. Elaboración propia

<b>NCE_2</b>	<b>Rango (%)</b>	<b>Potencial de conectividad</b>	<b>Color</b>
<b>2.03.</b>	80 - 100	ALTO	(A)
	50 - 80	MEDIO	(M)
	10 - 50	BAJO	(B)
	< 10	CASI NULO	(CN)

### **Indicador relacionado**

4.3.7. Ocupación del suelo a lo largo del eje ó tramo

## NCE\_2

### **4.3.5. Cobertura de vegetación riparia de bajo porte y sotobosque a lo largo del eje ó tramo (2.04.)**

#### ***Relevancia ambiental***

La biodiversidad en un ecosistema se caracteriza por la presencia de diversidad de especies y las relaciones complejas dadas entre estas y su medio. En este caso el componente vegetal que configura los espacios fluviales juega un papel fundamental en la estabilidad los procesos biológicos y ecológicos que allí se dan. La presencia de cobertura vegetal de bajo porte y sotobosque potencializa la estabilidad ecológica en la estructura base de las márgenes fluviales.

En el contexto urbano, por lo general los procesos de urbanización van alterando y modificando las estructuras vegetales base de los sistemas naturales, simplificándolas a coberturas continuas de baja complejidad (gramas), disminuyendo sus funciones ecológicas, y quedando reducidos en muchos casos a espacios de recreo y contemplación.

El contexto natural de la ciudad de Medellín está determinado por la presencia de una exuberante vegetación, sin embargo los procesos dados en los diferentes tipos de ocupación e intervenciones hacia las márgenes de las quebradas, han simplificado y fragmentado su estructura vegetal base. Aproximarse a la estructura vegetal base permitiría reconocer valores y potenciar estrategia de rehabilitación ecológica hacia este nivel de conectividad, equilibrando los usos de estas áreas entre las necesidades urbanas y las ecológicas.

#### ***Objetivo***

Valorar la presencia de vegetación de bajo porte y sotobosque en las márgenes a lo largo del eje o tramo.

#### ***Definición del indicador***

Se entiende como cobertura vegetal riparia de bajo porte, a las especies que tienen una relación muy directa con el suelo, ya que dependen fundamentalmente de la humedad de este. Por lo general crecen bajo las copas de los árboles o en grupos independientes, pero que no superan los 4 m de altura, y en general presentan una estructura extensiva a lo largo de las márgenes fluviales.

Debido a que la obtención de los datos necesario requieren de trabajo de campo, ya que una simple ortofoto no mostraría con claridad la situación, y debido a que en campo puede ser complicada la delimitación, por los cuerpos puntuales o masa de poca área, se propone tener en cuenta solo las masas continuas que superen en tamaño aproximado el 1% del área libre sin artificialización.

Se plantean los siguientes pasos:

1. Determinar los metros cuadrados (m2) de superficies con cobertura > al 1% del área libre sin artificialización del área total a valorar (AT) planteada en el indicador anterior.

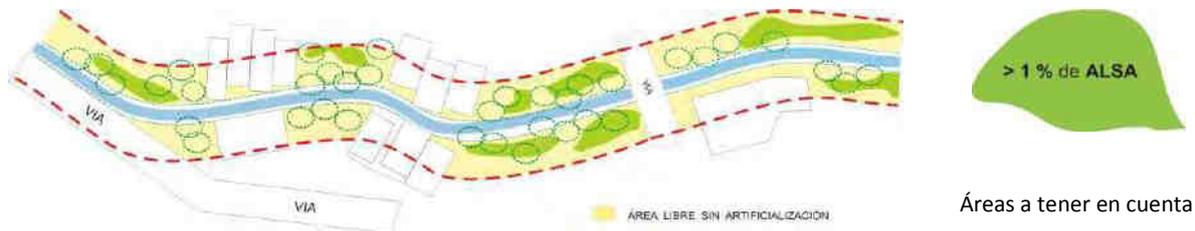


Figura 129. Esquema de coberturas riparias de bajo porte. Elaboración propia

2. La cuantificación se da a partir de la siguiente fórmula:

$$CVBP = \frac{\sum (\text{área cobertura vegetal} > 1\% \text{ de ALSA})}{\text{área libre sin artificialización (ALSA) del eje ó tramo}}$$

**Parámetros de evaluación**

Para este caso se plantea una escala simple de valoración a partir del porcentaje de superficie con vegetación de bajo porte o sotobosque. Teniendo como referencia la escala de valoración planteada desde el índice QBR en su bloque: Estructura de la vegetación, y referenciado en el capítulo 2.

Se aclara que este indicador podría complejizarse mas, de acuerdo a una diferenciación específica por tipo, calidad de cobertura y ubicación geomorfológica, sin embargo en este caso queda planteado de forma genérica de acuerdo con las posibilidades que se tienen.

El criterio de valoración planteado es el siguiente:

Tabla 29. Escala de valoración para indicador 2.04. Elaboración propia

NCE_2	Rango (%)	Potencial de conectividad	Color
2.04.	75 - 100	ALTO	(A)
	50 - 75	MEDIO	(M)
	10 - 50	BAJO	(B)
	< 10	CASI NULO	(CN)

**Indicador relacionado**

- 4.3.4. Área libre sin artificialización a lo largo del eje ó tramo
- 4.3.10. Estructura Vegetal de alto porte a lo largo del eje ó tramo

## NCE\_2

### **4.3.6. Grado de continuidad de márgenes fluviales libres a ambos lados del cauce (2.05.)**

#### ***Relevancia ambiental***

Garantizar la continuidad de las márgenes fluviales en paralelo, es fundamental para mantener el equilibrio de los sistemas hidrográficos, sus relaciones hidrodinámicas con el espacio, y la estabilidad ecológica en general.

En el contexto urbano las márgenes fluviales se han visto altamente afectadas y fragmentadas en sus procesos de conectividad, y muchos de los corredores fluviales se han transformado en líneas discontinuas, cambiando la conectividad ecológica por la conectividad de la movilidad vial. Esto a su vez ha cambiando drásticamente la dinámica de los cuerpos de agua.

En el contexto de la ciudad de Medellín, las diferentes formas de ocupación de los cauces y márgenes, han dejado a simple vista un paisaje fragmentado, sin embargo, estos fragmentos del sistema hidrográfico es indispensable valorarlos, ya que son la base para una rehabilitación ecológica de los ejes de quebrada en continuo dentro de la ciudad.

#### ***Objetivo***

Valorar el grado de continuidad de márgenes libres que coincidan a ambos costados del eje fluvial.

#### ***Definición del indicador***

Se plantea como un indicador sintético, que valora la presencia de los fragmentos libres; generalmente con una baja intervención antrópica, a partir de la diferenciación por rangos en función de la longitud de estos fragmentos (ml continuos).

No se tienen en cuenta condiciones de coberturas o arborización, ya que se valora es su potencial como áreas libres continuas a ambos costados. A su vez la presencia en alguno de los dos costados, de pequeñas estructuras, construcciones y/o superficies independientes que no superen en área el 10% del área total de cada margen dentro del fragmento, serán obviadas para la determinación de estas áreas y su valoración.

Se plantean los siguientes pasos:

**1.** determinar los metros lineales (ml) de los ejes que conforman los fragmentos, relacionándolos con alguna de las cuatro categorías planteadas, y asignándoles los coeficientes respectivos:

- **A:** Fragmentos con longitudes entre 10 y 20 m en su tramo más angosto. Se considera el fragmento mínimo a valorar, con un potencial de conectividad ecológica mínimo. Se le asigna un coeficiente de **(0.2)**.
- **B:** Fragmentos con longitudes entre 20 y 100 m en su tramo más angosto. Se considera un fragmento con un potencial de conectividad ecológica básico. Se le asigna un coeficiente de **(0.4)**.
- **C:** Fragmentos con longitudes entre 100 y 500 m en su tramo más angosto. Se considera un fragmento con un potencial de conectividad ecológica medio. Se le asigna un coeficiente de **(0.6)**.

- **D:** Fragmentos con longitudes > 500 m en su tramo más angosto. Se considera un fragmento con un potencial de conectividad ecológica alto. Se le asigna un coeficiente de **(1.0)**.

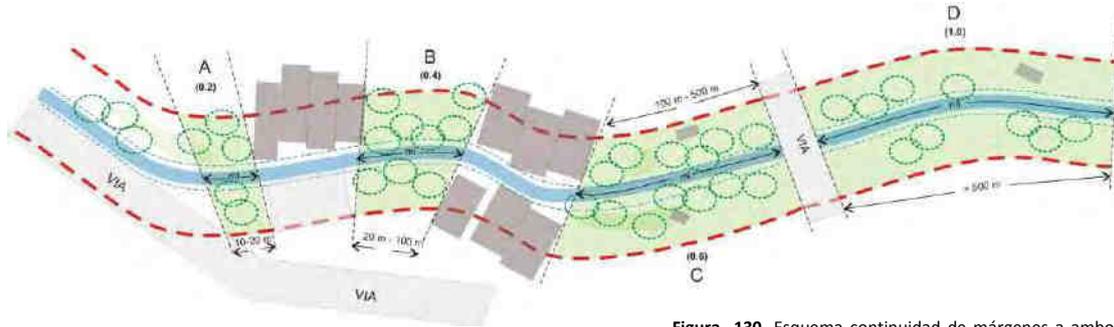


Figura 130. Esquema continuidad de márgenes a ambos lados. Elaboración propia

Estos coeficientes se dan de acuerdo con un criterio propio, ya que no se encontraron referencias al respecto.

2. La cuantificación se da a partir de la siguiente fórmula:

$$GCMF = \frac{\sum (\text{longitud\_categoría} \times \text{coeficiente})}{\text{longitud total eje ó tramo}}$$

**Parámetros de evaluación**

Ya que no se encontró una referencia directa para la valoración de este tipo de situaciones, los rangos definidos se dan bajo un criterio propio, a partir de las aproximaciones hechas anteriormente.

En este caso el nivel (A) se relaciona con un alto grado de continuidad a lo largo del eje o tramo, mientras que el nivel (B) ó (CN) con un bajo grado. Definiéndose a partir de la siguiente tabla:

Tabla 30. Escala de valoración para indicador 2.05. Elaboración propia

NCE_2	Rango	Potencial de conectividad	Color
2.05.	> 0,8	ALTO	(A)
	0,5 – 0,8	MEDIO	(M)
	0,1 – 0,5	BAJO	(B)
	< 0,1	CASI NULO	(CN)

## NCE\_2

### **4.3.7. Grado de ocupación de suelo en márgenes a lo largo del eje ó tramo (2.06.)**

#### ***Relevancia ambiental***

En condiciones ideales las márgenes de los cuerpos fluviales deberían permanecer libres de cualquier ocupación o intervención antrópica para garantizar la estabilidad de los procesos biológicos y ecológicos que allí se dan.

En el contexto urbano lo planteado anteriormente ha sido casi imposible de garantizar, ya que se han dado diferentes tipos de ocupación y diversidad de intervenciones antrópicas hacia los sistemas hidrográficos base; especialmente desde la revolución industrial.

El contexto de la ciudad de Medellín no es la excepción, por el contrario, como se ha dejado claro en capítulos anteriores, su sistema hidrográfico se ha visto claramente alterado por diferentes procesos que han dado como resultado la ocupación de las márgenes de quebradas de forma ilegal por asentamientos de invasión, y “legal” por el desarrollo de infraestructuras viales o equipamientos. A pesar de esta obvia realidad es necesario cuantificar el grado de ocupación de acuerdo con la intensidad de intervención dada a partir de los diferentes tipos de ocupación, y valorar el potencial que se tiene ante una rehabilitación ecológica del eje.

#### ***Objetivo***

Valorar el grado de ocupación de suelo de las márgenes, de acuerdo con el tipo de ocupación dado hacia el eje.

#### ***Definición del indicador***

Para este indicador no se tiene una referencia directa de otra metodología, por lo que se plantea de acuerdo con lo siguiente:

Se plantea como un indicador sintético, que valora la ocupación hacia las márgenes a partir de la diferenciación por tipos de ocupación en función de su uso y condición de “legalidad” o ilegalidad.

No se tienen en cuenta intervenciones puntuales, como es el caso de las canalizaciones, ya que estas se valoran en otros indicadores, sino áreas totales construidas o libres vinculadas dentro de cada tipo de ocupación.

Se plantean los siguientes pasos:

**1.** Determinar los metros cuadrados (m<sup>2</sup>) por tipo de ocupación a lo largo del eje o tramo, vinculándolos a alguna de los siguientes tipos de ocupación, y asignándole los coeficientes respectivos:

- **A. Invasión:** viviendas o construcciones ilegales, generalmente asentadas en áreas de alto riesgo tanto por deslizamiento como por inundación, cuyas condiciones de ilegalidad están dadas por situaciones bastante complicadas social y económicamente, pero la necesidad y posibilidad de los procesos de reubicación, les da a estas áreas una menor intensidad y mayor potencialidad para la rehabilitación ecológica de los ejes. Se le asigna un coeficiente de **(0.5\*)**.

- **B. Equipamientos:** planeados o no y dentro de un marco de legalidad relativo, pueden darse tanto a nivel industrial e institucional, y pueden vincular o en sí mismos ser áreas libres con superficies consolidadas como placas polideportivas plazoletas o demás. Su intensidad se considera mayor al estar relativamente consolidados y bajo cierta legalidad. Se le asigna un coeficiente de **(0.70\*)**.

- **C. Infraestructura vial:** por lo general legalmente desarrolladas, y potencializadas incluso desde el POT 2006(\*\*), se plantean como el tipo de ocupación mas intensivo, ya que su configuración no solo transforma en alto grado las condiciones hidromorfológicas de las márgenes fluviales, sino que a su vez simplifican las condiciones de conectividad ecológica, en tanto su condición de legalidad y dependencia reducen el potencial de estas áreas para la rehabilitación ecológica de los ejes. Se le asigna un coeficiente de **(1.0\*)**.

\* Los coeficientes definidos responden a un criterio propio, teniendo en cuenta la potencialidad de cada situación ante la necesidad de una rehabilitación ecológica de los ejes de quebrada en el contexto urbano.

\*\* “Sobre estas fajas (retiros) se permiten obras que hagan parte del sistema de movilidad de la ciudad o proyectos de espacio público de interés general con las restricciones establecidas en este Acuerdo”<sup>49</sup>.

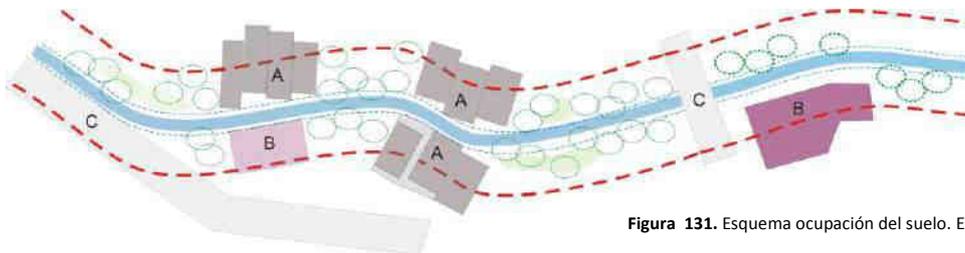


Figura 131. Esquema ocupación del suelo. Elaboración propia

2. Se aplica la siguiente fórmula:

$$GDOS = \frac{\sum (\text{área}_T \text{ ocupación} \times \text{coeficiente})}{\text{área total a valorar (AT*) del eje ó tramo}}$$

\* El área total (AT) es la definida desde el borde (B) hasta el retiro total (RT) a ambos costados del eje, desvinculando el área del cauce a partir del  $Tr=2.33$  años; de acuerdo con los criterios de delimitación transversal planteados.

### Parámetros de evaluación

Ya que no se encontró una referencia directa para la valoración de este indicador, los rangos definidos se dan bajo un criterio propio, a partir de las aproximaciones hechas anteriormente.

En este caso el nivel (A) se relaciona con un bajo grado de ocupación a lo largo del eje o tramo, mientras que el nivel (B) ó (CN) con un alto grado. Definiéndose a partir de la siguiente tabla:

Tabla 31. Escala de valoración para indicador 2.06. Elaboración propia

NCE_2	Rango	Potencial de conectividad	Color
2.06.	0,1 – 0,3	ALTO	(A)
	0,3 – 0,5	MEDIO	(M)
	0,5 – 0,7	BAJO	(B)
	> 0,70	CASI NULO	(CN)

<sup>49</sup> POT Medellín, acuerdo 046 de 2006, artículo 20. p.10.

## NCE\_2

### **4.3.8. Presencia de barreras a lo largo del eje ó tramo (2.08.)**

#### ***Relevancia ambiental***

La continuidad de los sistemas naturales base es fundamental para garantizar la conectividad ecológica, aun más en relación con los sistemas hidrográficos, ya que su configuración en sí misma los convierte en los conectores ecológicos principales dentro de los territorios, articulando las áreas de mayor riqueza ecológica y biodiversidad presentes en estos.

En el contexto urbano, la artificialización de los sistemas hidrográficos, supone la presencia de elementos y/ó situaciones que en mayor o menor grado fragmentan la continuidad de los ejes que conforman el sistema. Siendo los que anulan todos los niveles de conectividad ecológica, los que mayor fragmentación causan. De acuerdo con esto los elementos perpendiculares al eje que cruzan y anulan las condiciones de conectividad se convierten en barreras que dependiendo de su conformación y uso, afectan en mayor o menor grado a la conectividad ecológica.

En el contexto de la ciudad de Medellín, estas barreras están dadas principalmente a partir de la configuración del sistema vial, dado por diferentes procesos de crecimiento urbano que al irse conectando han superando las condicionantes topográficas e hidrográficas, pero a su vez han ido fragmentado los ejes de quebrada de la ciudad. Ante esto la necesidad de valorar la presencia de estos elementos es fundamental, para poder plantear estrategias de rehabilitación ecológica de forma integral.

#### ***Objetivo***

Valorar la presencia de las barreras de mayor jerarquía que cruzan el cauce a lo largo del eje ó tramo.

#### ***Definición del indicador***

Se plantea como un indicador sintético que mide como tal la presencia de las barreras; entendidas éstas de acuerdo con el contexto, como los cruces generalmente vehiculares entre 4m y 30m de ancho que cruzan el cauce de un costado al otro.

Ya que se reconoce que el impacto entre un ancho de 4m y otro de 30m puede ser diferente, tanto en su conformación, estructura, o grado de alteración geomorfológica causado, y que el contexto entre unas y otras puede variar, generalmente entre los áreas más urbanizadas y conformadas y las áreas periurbanas, en este caso se plantea diferenciar estas barreras en tres categorías.

Este indicador se ciñe a su vez a las condiciones planteadas en el indicador (1.05) del punto 4.3.2. (Grado de cobertura de cauce a lo largo del eje ó tramo) y específicamente en su categoría: cobertura parcial sobre cauce.

Se plantean los siguientes pasos:

1. identificar y cuantificar el número de barreras con anchos entre 4-30m, diferenciándolas de acuerdo con las siguientes categorías, y asignándole los coeficientes respectivos:

Las siguientes categorías no especifican tipologías de barreras o conformaciones estructurales precisas, por lo que solo plantean generalidades en relación con los anchos planteados, asignándoles los rangos o coeficientes para su valoración de acuerdo con la potencialidad de estos ante una rehabilitación ecológica.

- **a. Anchos entre 4 – 5 m:** generalmente barreras o cruces dados en las áreas periurbanas o con poca intensidad urbana, caracterizadas por estructuras simples, y que por lo general cruzan a un nivel bajo en relación con las riberas y el cauce. Se le asigna un coeficiente de **(0.4)**.

- **b. Anchos entre 5 – 15 m:** generalmente barreras o cruces dados en áreas urbanas consolidadas y en relación con vías de segundo grado (vías barriales o zonales). Conformadas generalmente a partir de estructuras que cruzan e intervienen sobre los diferentes niveles de conectividad de las quebradas. Se le asigna un coeficiente de **(0.8)**.

- **c. Anchos entre 15 – 30 m:** generalmente barreras o cruces dados en áreas urbanas consolidadas y en relación con vías primarias (zonales o metropolitanas). Conformadas generalmente a partir de estructuras que cruzan e intervienen sobre los diferentes niveles de conectividad de las quebradas, y que por su conformación y vinculación urbana presentan un bajo potencial ante una rehabilitación ecológica. La presencia de barreras consecutivas en relación a un mismo eje y con separaciones mínimas y que pueden superar incluso los 30m se tendrán en cuenta dentro de esta categoría, como es el caso específico de las infraestructuras paralelas al río que cruzan en las desembocaduras. Se le asigna un coeficiente de **(1.0)**.

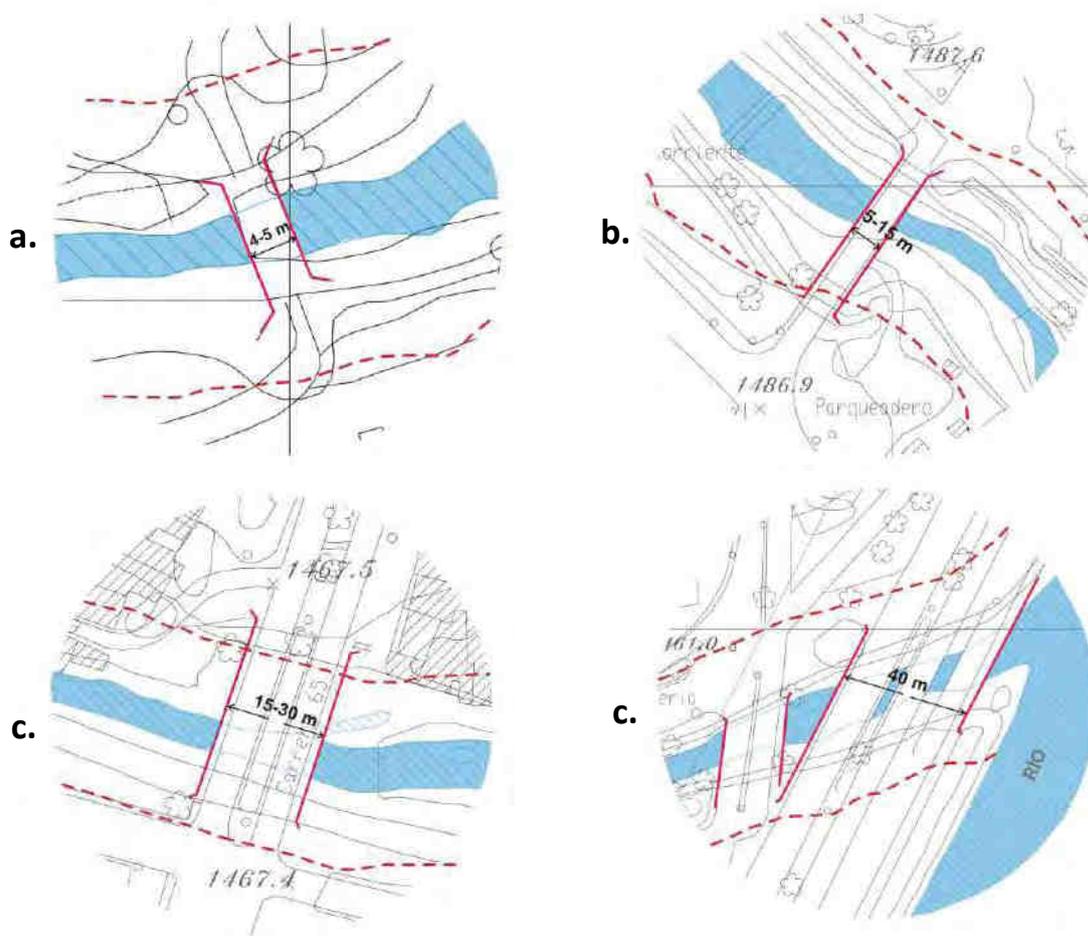


Figura 132. Esquemas categorías de barreras. Elaboración propia

2. Se aplica la siguiente fórmula:

$$PB = \frac{\sum (N^{\circ} \text{ barreras}_{\text{categoría}} \times \text{coeficiente})}{\text{metros lineales del eje o tramo (ml)}} \times 100$$

### Parámetros de evaluación

Ya que no se encontró una referencia directa para la valoración de este indicador, los rangos definidos se dan bajo un criterio propio, partiendo del análisis de unas condiciones de referencia hipotéticas en un kilómetro lineal (1Kml), donde se considera que la presencia máxima de una barrera en 1 kml, sería la condición de referencia máxima para una alto potencial de conectividad, y a partir de aquí de acuerdo con el contexto de la ciudad, la presencia de un mayor número de barreras implicaría una mayor fragmentación.

En este caso el nivel (A) se relaciona con una baja presencia de barreras a lo largo del eje o tramo, mientras que el nivel (B) ó (CN) con una alta presencia. Definiéndose a partir de la siguiente tabla:

Tabla 32. Escala de valoración para indicador 2.08. Elaboración propia

NCE_2	Rango	Potencial de conectividad	Color
2.08.	< 0,1	ALTO	(A)
	0,1 – 0,3	MEDIO	(M)
	0,3 – 0,4	BAJO	(B)
	> 0,4	CASI NULO	(CN)

Este indicador, sin embargo, no aclara la ubicación de las barreras dentro del espacio, lo cual es fundamental para valorar de forma más específica la relación entre estas y el recorrido real del eje o tramo a valorar. De acuerdo con esto se considera necesario el desarrollo del siguiente indicador (2.09), planteado como un complemento de este, y que permitiría tener una visión más integral de la situación que genera la presencia de las barreras.

### Indicadores relacionados

4.3.2. Grado de cobertura de cauce a lo largo del eje ó tramo.

4.3.9. Grado de dispersión lineal de barreras a lo largo del eje o tramo.

### 4.3.9. Grado de dispersión lineal de barreras a lo largo del eje o tramo (2.09.)

#### Relevancia ambiental

La relevancia de este indicador coincide con la planteada en el indicador anterior (2.08), ya que se plantea como un complemento de este.

La ubicación espacial de las barreras, su relación lineal y distancia entre estas, está directamente relacionada con el grado de fragmentación de los ejes, y en tanto esta es la principal causante de la pérdida de conectividad ecológica en el contexto urbano; y todo lo que esto trae, es importante plantear un indicador que pueda cuantificar las relaciones espaciales de los elementos principales que causan esta situación.

En función del número de barreras y la distancia que hay entre estas, se puede plantear que a mayor número de barreras y menor distancia entre estas hay una menor dispersión y por ende una mayor fragmentación del eje hidrográfico, y que por el contrario a mayor distancia entre barreras y menor número de estas se da una mayor dispersión y por ende una menor fragmentación del eje.

#### Objetivo

Valorar la distribución espacial de las barreras presentes en los ejes hidrográficos, en función de su número y las distancias que hay entre ellas.

#### Definición del indicador

Aunque se plantea como un complemento del indicador anterior, este se valora independientemente.

Ante la necesidad de cuantificar la situación planteada, y partiendo del concepto dado por un matemático, se propone tener como base el cálculo de una función llamada varianza, la cual tiene una relación directa con el concepto de dispersión. y que básicamente determina la relación entre las distancias dadas desde un origen común hasta cada una de los elementos (centroides), relacionándolas a su vez con la media de las distancias y el número de elementos, mediante la siguiente fórmula :

$$\sigma^2 = \sum ((ay - A)^2) / N$$

Donde:

$\sigma^2$  = varianza

$ay$  = distancia desde el origen hasta el centroide de cada elemento.

$A$  = media de las  $ay$

$N$  = número de elementos

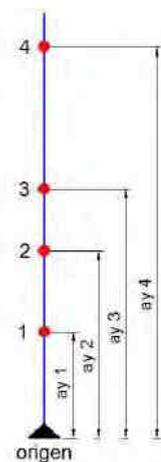


Figura 133. Esquema de dispersión lineal. Elaboración propia

Ahora, llevando esta medida al contexto urbano del cual se quiere valorar la situación específica en relación con las barreras que cruzan los ejes de quebrada, se plantea lo siguiente:

Si bien la medida presentada anteriormente nos da unos valores determinados, ante diferentes situaciones o configuraciones analizadas a una escala de ciudad, estos valores no son fáciles de acotar y pueden ser bastante relativos en función de la distancia general de los ejes, por lo que se ve la necesidad de limitar la distancia general para poder cuantificarlo y valorarlo de forma más precisa.

En este caso se opta por limitar la distancia de valoración y cuantificación a un kilómetro lineal (1 Kml), entendiendo que este es el tramo mínimo propuesto desde esta base metodológica para la aproximación al estado de la conectividad ecológica en el contexto urbano, y que a su vez es una buena base para determinar un rango o escala de valores que permita una cuantificación general a partir de parciales en concordancia con el indicador anterior (2.08) cuya valoración se planteo a su vez de acuerdo con 1Kml.

Partiendo de lo anterior se plantean unas situaciones hipotéticas y se cuantifican limitando la distancia a mil metros (1Kml). Se plantea a su vez el punto fijo base a partir del eje del río como se muestra en el siguiente esquema:

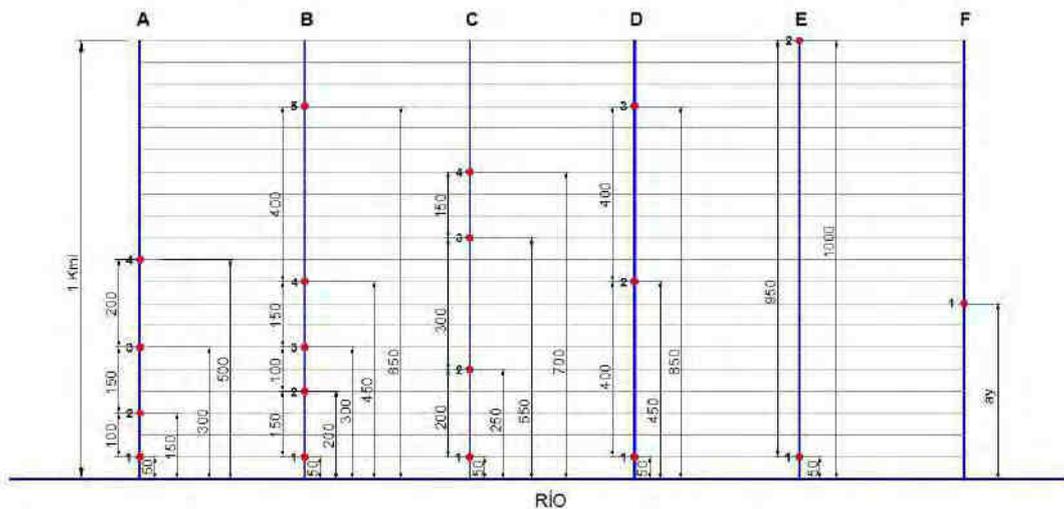


Figura 134. Esquema de dispersión lineal de barreras para varias situaciones hipotéticas hacia un eje hidrográfico en el contexto urbano de Medellín. Elaboración propia

Las situaciones **(A, B, C)** plantean condiciones de fragmentación elevada, tanto a partir de las cortas distancias entre barreras como por el número de estas en 1Kml. Son situaciones que afectan en alto grado las posibilidades de la conectividad ecológica de los ejes en el contexto urbano, y su potencial de rehabilitación.

La situación **(D)** plantea condiciones de fragmentación media, a partir de distancias medias entre barreras mayores a las situaciones anteriores y con un menor número de estas en 1Kml. Sin embargo continúan afectando aunque en menor grado las posibilidades de la conectividad ecológica de los ejes en el contexto urbano, y su potencial de rehabilitación.

La situación **(E)** aunque plantea barreras distantes con un grado de fragmentación mucho menor a las anteriores en 1Kml, y aunque se plantea como una situación básica para que se den unas condiciones básicas de conectividad ecológica, sin embargo, el numero de barreras (2) aun condicionan estas posibilidades en el contexto urbano, y su potencial de rehabilitación.

La situación **(F)** se plantea como la situación máxima ó permisible que dentro del contexto urbano presentaría unas condiciones aptas para los procesos de conectividad ecológica en los ejes de quebrada, planteando la presencia de máximo una barrera (1) en 1kml. Esta situación queda por fuera de la cuantificación de la varianza planteada anteriormente. Por lo que el rango entre 0-1 barrera por 1Kml se plantea como la condición de referencia adecuada para el contexto urbano, asumiendo un valor de **(0)** en el rango de valoración.

La siguiente es la cuantificación de la varianza para cada una de las situaciones:

**Tabla 33.** Calculo de varianza por situación. Elaboración propia

SITUACIÓN	ay (ml)		$\Sigma ay/N$	varianza
A	ay1	50	250	170
	ay2	150		
	ay3	300		
	ay4	500		
B	ay1	50	370	273
	ay2	200		
	ay3	300		
	ay4	450		
	ay5	850		
C	ay1	50	388	253
	ay2	250		
	ay3	550		
	ay4	700		
D	ay1	50	450	327
	ay2	450		
	ay4	850		
E	ay1	50	525	475
	ay2	1000		

De acuerdo con los valores obtenidos y la valoración hecha anteriormente para cada situación se determinan los rangos de valoración planteados en los parámetros de evaluación.

Partiendo de lo anterior se plantean los siguientes pasos:

1. identificar y cuantificar el número de barreras con anchos entre 4-30m; en este caso obviando las categorías planteadas en el indicador anterior. Se determinan sus respectivos centroides en relación con el eje del cuerpo fluvial, y se definen las distancias por tramos de 1Kml. para el primer tramo desde el eje del rio, y para los demás a partir del final del tramo anterior o en tramos independientes comenzando desde la parte más baja en dirección al rio.

2. Se aplica la fórmula de la varianza y se divide entre 1000:

$$\sigma^2 = (\Sigma ((ay - A)^2) / N) / 1000$$

### **Parámetros de evaluación**

De acuerdo con lo planteado y definido anteriormente se plantea la siguiente escala de valoración:

**Tabla 34.** Escala de valoración para indicador 2.09. Elaboración propia

<b>NCE_2</b>	<b>Rango</b>	<b>Potencial de conectividad</b>	<b>Color</b>
<b>2.09.</b>	0	ALTO	(A)
	0,3 – 0,5	MEDIO	(M)
	0,2 – 0,3	BAJO	(B)
	0,01 – 0,2	CASI NULO	(CN)

### **Indicador relacionado**

4.3.8. Presencia de barreras a lo largo del eje ó tramo

### **4.3.10. Estructura Vegetal de medio y alto porte a lo largo del eje ó tramo (3.01.)**

#### ***Relevancia ambiental***

La vegetación de medio y alto porte o arbolado, configura una estructura “aérea” que es fundamental para las dinámicas ecológicas a lo largo del eje fluvial. La regulación del ciclo hídrico, la generación de microclimas y la presencia de diversidad de especies son algunos de los aspectos que hacen de este un componente determinante dentro de los procesos de conectividad ecológica.

En el contexto urbano, los ejes fluviales por lo general tienden a sufrir procesos de deforestación, sacrificando la presencia del componente arbóreo por el desarrollo de infraestructuras o cambios de uso del suelo dados por procesos de urbanización intensivos, que generalmente terminan potencializando la erosión e inestabilidad hacia las márgenes y riberas de estos ejes.

La exuberante vegetación que se da en el contexto de la ciudad de Medellín, es un potencial que debe preservarse y potencializarse para garantizar la estabilidad ecológica del territorio, y en el caso los ejes de quebrada, es indispensable invertir los procesos de deforestación y simplificación del componente arbóreo dados a causa de los diferentes tipos de ocupación e intervenciones hacia las márgenes de las quebradas.

Valorar la presencia de la vegetación de medio y alto porte hacia los ejes de quebrada, es importante para potenciar estrategias de rehabilitación ecológica que contemplen la reforestación de las áreas afectadas, complementando así los niveles de conectividad inferiores.

#### ***Objetivo***

Valorar la presencia de las agrupaciones de vegetación de medio y alto porte hacia las márgenes a lo largo del eje o tramo.

#### ***Definición del indicador***

En este caso se entiende como vegetación de medio y alto porte, a las especies arbóreas que crecen de forma intensiva en las márgenes de las quebradas, que por lo general superan los 4 m de altura, y que se agrupan para conformar estructuras vegetales aéreas.

Ya que el análisis de ortofotos puede ser una buena herramienta para la cuantificación de estas agrupaciones, y debido a que estas áreas arborizadas tienen una relación directa con la vegetación de menor porte (arbustos), en tanto estos últimos hagan parte de la estructura o agrupación vegetal de alto porte pueden incluirse dentro de las áreas a valorar. Se plantea obviar los elementos puntuales (árboles puntuales) o agrupaciones inferiores a 30m<sup>2</sup> ya que como tal no conformarían una red integrada.

Se plantean los siguientes pasos:

1. Determinar los metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de las superficies con cobertura arbórea > a 30 m<sup>2</sup> dentro del área libre sin artificialización del área total a valorar (AT) planteada en el indicador anterior.

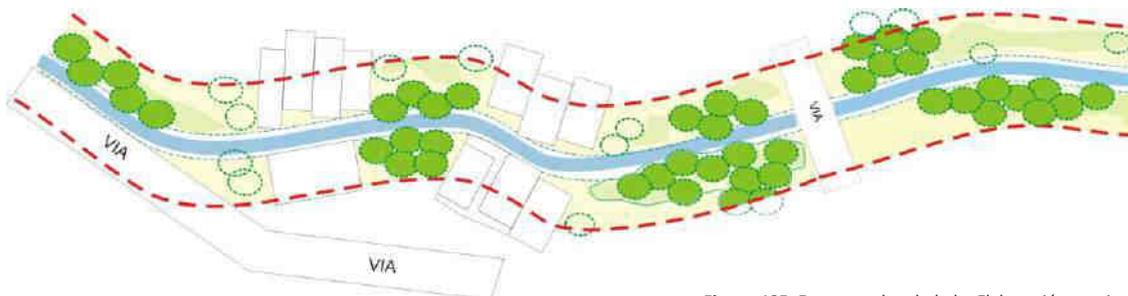


Figura 135. Esquema de arbolado. Elaboración propia

2. La cuantificación se da a partir de la siguiente fórmula:

$$EVMAP = \frac{\sum (\text{área cobertura vegetal} > 30\text{m}^2)}{\text{área libre sin artificialización (ALSA) del eje ó tramo}}$$

Se aclara que el valor resultante podría estar por encima del 100%, ya que en algunas ocasiones estas masas o agrupaciones por su conformación pueden superar los límites definidos como el área total a valorar en relación con el ancho del cauce.

### Parámetros de evaluación

Para este caso se plantea una escala simple de valoración a partir del porcentaje de superficie con vegetación de alto porte. Teniendo como referencia la escala de valoración planteada desde el índice QBR en su bloque: Estructura de la vegetación, y referenciado en el capítulo 2.

El criterio de valoración planteado es el siguiente:

Tabla 34. Escala de valoración para indicador 3.01. Elaboración propia

NCE_3	Rango (%)	Potencial de conectividad	Color
3.01.	> 75	ALTO	(A)
	50 - 75	MEDIO	(M)
	10 - 50	BAJO	(B)
	< 10	CASI NULO	(CN)

### Indicador relacionado

4.3.5. Cobertura de vegetación riparia de bajo porte y sotobosque a lo largo del eje ó tramo

### 4.3.11. Continuidad longitudinal del arbolado a lo largo del eje ó tramo (3.02.)

#### Relevancia ambiental

Los ejes configurados a partir de una estructura vegetal aérea continua permiten un nivel de conectividad mucho mayor ya que este nivel es el que complementa todos los procesos ecológicos dados a lo largo y ancho del eje fluvial, potencializando unas condiciones ambientales adecuadas y la conexión entre diferentes puntos o ecosistemas estratégicos a nivel territorial.

Si bien la continuidad debe valorarse en ambas direcciones; tanto longitudinal como transversalmente, en este caso y en el contexto urbano, la discontinuidad generada por los procesos de urbanización y la presión dada hacia las márgenes fluviales, hace que a escala de ciudad la continuidad o conectividad longitudinal sea indispensable para generar verdaderos corredores ecológicos.

#### Objetivo

Valorar la continuidad longitudinal del arbolado en relación con las márgenes fluviales a lo largo del eje o tramo.

#### Definición del indicador

En este caso se parte de la identificación hecha en el indicador anterior, pero se enfoca el análisis a las relaciones lineales de las agrupaciones de vegetación arbórea a ambos lados del cauce en relación con el eje total o tramo a valorar.

Se plantean los siguientes pasos:

1. Se definen dos ejes virtuales paralelos a cada una de las riberas del cauce; determinado según los criterios de delimitación transversal definidos. A estos dos ejes virtuales se les asocia respectivamente las diferentes masas o agrupaciones de arboles identificadas anteriormente en cada una de las márgenes, determinando en cada una de estas agrupaciones su longitud mayor ( $X_{ml}$ ) en relación con el eje virtual a cada uno de los costados del eje.

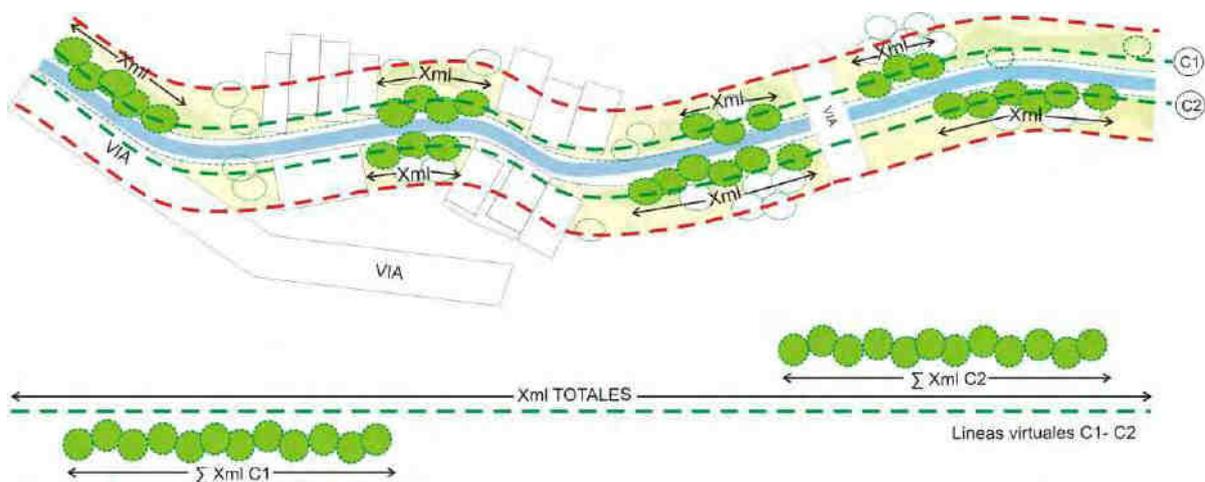


Figura 136. Esquema continuidad longitudinal arbolado. Elaboración propia

2. La cuantificación se da a partir de la siguiente fórmula:

$$CLA = ((\sum X_{ml}) \times 4/10) / X_{ml} \text{ TOTALES del eje ó tramo}$$

**Parámetros de evaluación**

Para la valoración de este indicador se parte del planteamiento hecho desde el Sistema de Indicadores para Ciudades Grandes y Medianas, elaborado por el ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Español, y la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona en el año 2011 , y en relación con el indicador de la Conectividad de los Corredores Verdes Urbanos, donde se considera que unos valores orientativos en relación con la densidad del arbolado para la conformación de un conector vegetal, debe estar por encima de los 4 árboles / 10 ml .

Adaptando este concepto se llega a los siguientes rangos de valoración:

Tabla 35. Escala de valoración para indicador 3.02. Elaboración propia

NCE_3	Rango	Potencial de conectividad	Color
3.02.	> 0,4	ALTO	(A)
	0,3	MEDIO	(M)
	0,2	BAJO	(B)
	0,1	CASI NULO	(CN)

**Indicador relacionado**

4.3.10. Estructura Vegetal de medio y alto porte a lo largo del eje ó tramo

#### 4.4. Valoración de los niveles de conectividad ecológica en el contexto urbano

Una vez planteado el sistema de indicadores básico es indispensable poder llegar a un Índice que los agrupe, permitiendo valorar en conjunto la situación de los ejes principales y del sistema hidrográfico en el contexto de la ciudad, en relación con el potencial de conectividad que en estos se da, de acuerdo con los tres niveles de conectividad planteados.

El planteamiento de un índice especializado requeriría la jerarquización de cada uno de los indicadores planteados de acuerdo con cada nivel de conectividad, y a su vez la jerarquización de estos niveles, y definición de unos rangos y puntos proporcionales a cada situación, partiendo de los índices definidos para cada indicador en el subcapítulo anterior.

En este caso y de acuerdo con las posibilidades que se tienen, se plantea un índice básico de conectividad ecológica de ejes de quebrada en el contexto urbano (IBDCEQU).

Partiendo del análisis de las metodologías referenciadas, y en específico la propuesta para la valoración del QBR referenciada en el capítulo 2 (ver Anexo 2), se plantea una valoración simple a partir de puntos, que permitiría de forma rápida una valoración sintética para cada eje o tramo evaluado, de acuerdo con el potencial de conectividad dado en cada uno de los niveles. Para esto se obvian los indicadores cualitativos o descriptivos, seleccionando únicamente los de carácter cuantitativo, y asignándoles una puntuación de 0 a 100 respectivamente según el número de indicadores por nivel, y el número de niveles planteados de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 36. Puntuación por niveles y valoración del índice de conectividad ecológica para quebradas en el contexto urbano. Elaboración propia

Niveles de conectividad	Parámetros e indicadores	Valoración por parametro								Valoración por nivel				Valoración TOTAL			
NCE_1	COMPONENTE NATURAL									33.3	20	6.6	0	A	M	B	N
	03- Caudal ecológico (ambiental)	A	25	M	15	B	5	CN	0								
	04- Calidad del recurso hídrico	A	25	M	15	B	5	CN	0								
	COMPONENTE FISICO ESPACIAL (INFRAESTRUCTURAS)																
	05- Grado de encauzamiento a lo largo del eje ó tramo	A	25	M	15	B	5	CN	0								
	06- Grado de cubrimiento de cauce a lo largo del eje ó tramo	A	25	M	15	B	5	CN	0								
NCE_2	COMPONENTE NATURAL									33.3	20	6.6	0	A	M	B	CN
	02- Grado de Permeabilidad ecológica del suelo a lo largo del eje	A	12.5	M	7.5	B	2.5	CN	0								
	03- Área libre sin artificialización a lo largo del eje ó tramo	A	12.5	M	7.5	B	2.5	CN	0								
	04- Cobertura de vegetación de bajo porte a lo largo del eje ó tramo	A	12.5	M	7.5	B	2.5	CN	0								
	COMPONENTE FISICO ESPACIAL (INFRAESTRUCTURAS)																
	05- Grado de Continuidad de márgenes a ambos lados del cauce	A	12.5	M	7.5	B	2.5	CN	0								
	06- Grado de ocupación de suelo en márgenes a lo largo del eje	A	12.5	M	7.5	B	2.5	CN	0								
	07- Grado de alteración Geomorfológica	A	12.5	M	7.5	B	2.5	CN	0								
	08- Presencia de barreras a lo largo del eje ó tramo	A	12.5	M	7.5	B	2.5	CN	0								
09- Grado de dispersión lineal de barreras a lo largo del eje ó tramo	A	12.5	M	7.5	B	2.5	CN	0									
NCE_3	01- Estructura Vegetal de alto porte a lo largo del eje ó tramo	A	33.3	M	20	B	6.6	CN	0	33.3	20	6.6	0	A	M	B	N
	02- Continuidad longitudinal del arbolado a lo largo del eje ó tramo	A	33.3	M	20	B	6.6	CN	0								
	03- Biodiversidad y calidad del arbolado	A	33.3	M	20	B	6.6	CN	0								

valoración de Índice de conectividad ecológica para quebradas en el contexto urbano			
IBDCEQU	Rango	Potencial de conectividad	Color
0 - 100	≥ 90	ALTO	(A)
	60-85	MEDIO	(M)
	20-55	BAJO	(B)
	≤ 15	CASI NULO	(CN)

Queda planteada así la base metodológica para una aproximación hidromorfológica a los ejes principales del sistema hidrográfico dentro de un contexto urbano bajo el criterio de la conectividad ecológica.

Ésta admite ser revisada y complementada para su correcta implementación, y lograr así una visión más integral de la situación ecológica de estas áreas dentro de la ciudad, y permitir el planteamiento de estrategias de intervención más sostenibles desde la visión de la ecología urbana.

## 5. CONCLUSIONES

### **Antecedentes de conclusiones.**

- Los conceptos de conectividad ecológica, fragmentación, y biodiversidad, se han manejado por lo general en ámbitos territoriales en relación con áreas periurbanas, suburbanas y rurales bajo una visión macro, y de forma bastante difusa en el contexto urbano.
- La conectividad ecológica hay que mirarla desde varios ángulos, y cuantificarla teniendo en cuenta diferentes componentes que se relacionan entre sí, especialmente una vez se vincula este concepto con un sistema hidrográfico.
- Para que se den unas condiciones ecológicamente estables dentro de los sistemas hidrográficos, intervienen de forma integral los tres componentes hidromorfológicos principales, y para el análisis, evaluación, intervención y restauración o rehabilitación de sus ejes principales, son componentes que no pueden desligarse, ya que son interdependientes. Sin embargo las condiciones morfológicas a modo de base o matriz del sistema, son determinantes para el entendimiento, valoración, e intervención de estos ejes en relación con la conectividad ecológica.
- Al valorar las condiciones hidromorfológicas de los ejes hidrográficos, se evidencia a su vez el estado de la conectividad ecológica dentro del sistema, siendo esta última directamente proporcional al buen estado de las condiciones hidromorfológicas.

### **Conceptuales**

- Para cumplir el reto que plantea la biodiversidad urbana, se requiere hacer un zoom de aproximación a menor escala y más específico en relación con los sistemas naturales base y su vinculación dentro de las tramas urbanas, relacionando de forma más integral conceptos como el de la conectividad ecológica dentro de las dinámicas del desarrollo urbano.
- Es necesario buscar herramientas y metodologías que permitan aproximarse de forma más concreta a las realidades urbanas y sus problemáticas en relación con los sistemas naturales base, vinculando las visiones que desde otros campos como los de las ciencias ambientales (Ecología, Ambientología, Biología y la misma arquitectura del paisaje), han planteado en otros ámbitos.
- Cuando se plantea el tema de la conectividad ecológica en relación con los sistemas hidrográficos, es fundamental la comprensión de la relación ecológica existente entre los componentes del sistema, tanto en su configuración espacial transversal y longitudinal, como con las dinámicas y el estado del recurso hídrico presente. De aquí la importancia de una aproximación hidromorfológica.
- Para aproximarse a al estado de los sistemas naturales base en el contexto urbano bajo una visión sistémica, los sistemas de indicadores se convierten en una herramienta fundamental para poder conocer, comprender y determinar el estado de estos, y potenciar alternativas en la búsqueda de una rehabilitación ecológica.

## **Referenciales**

- Por lo general los indicadores relacionados con la conectividad ecológica en el ámbito del planeamiento urbano hacen parte de protocolos o metodologías más enfocadas a valorar el estado de esta en contextos suburbanos y rurales ya sea en relación a las áreas libres o ejes hidrográficos. A su vez algunos otros referenciados en relación e con los espacios fluviales, no se plantean desde el criterio de la conectividad ecológica sino a partir de criterios como el de la artificialización del territorio.

- Sería interesante profundizar en los planteamientos hechos por autores y profesionales que desde la arquitectura del paisaje han vinculado o comenzado a vincular en el ámbito urbano la visión ecológica, como es el caso de los planteamiento hechos por Ian L. Mcharg, Gilbert O.I, Michael Hough, y más recientemente como los planteados por Edward Cook en relación con la evaluación de la estructura del paisaje a nivel urbano, ente otros.

## **Contextuales**

- La alta perturbación dada sobre el sistema hidrográfico de la ciudad de Medellín, es resultado y reflejo de la compleja problemática social, cultural y económica dada en la corta historia de la ciudad, y de la falta de una visión integral desde las dinámicas de la planeación urbana, respecto a las necesidades medioambientales y ecológicas de la ciudad.

- Las dinámicas de intervención actuales sobre los ejes de quebrada de la ciudad de Medellín en relación con los parques lineales de quebrada, aunque contribuyen en el mejoramiento ambiental de estas áreas, generando condiciones que permiten recuperar algunos procesos ecológicos, son aun intervenciones puntuales, que aunque parten de una visión general no logran una integralidad a partir de estrategias específicas para la totalidad del eje en su tramo urbano bajo un criterio de conectividad ecológica.

- Estas dinámicas de intervención permiten actuaciones restringidas, y que se concentran sobre todo en el componente socio-cultural y físico-espacial a partir de una visión de la situación base y de la potencialidad de estos ejes desde las perspectivas del urbanismo tradicional, dejando de lado una visión integral de la problemática medio ambiental y de la situación o potencial de estos ejes como conectores ecológicos.

## **Finales**

- La diferenciación por niveles de conectividad ecológica permite hacer una organización y seguimiento de cada uno de los parámetros y variables relacionadas, conservando una estructura sistémica coherente con el funcionamiento y jerarquización de cada uno de los fenómenos que se dan hacia los ejes hidrográficos.

- La información requerida para la implementación del sistema de indicadores propuesto, aun es muy restringida en el contexto de la ciudad de Medellín, ya que las bases de datos que se tienen presentan aproximaciones a escalas macro que no logran mostrar por lo general las situaciones más específicas en relación con los ejes de quebrada y el sistema hidrográfico al interior de la ciudad.

- Para la implementación del sistema de indicadores propuesto es necesario construir una base de datos que permita una aproximación lo más precisa posible, ya que estos requieren información muy específica, que posiblemente aun no se tiene registrada y que requeriría para su consecución un trabajo de campo ,la elaboración de levantamientos o modelos, y su vinculación con bases GIS, a

su vez la fotointerpretación a partir de ortofotos de alta resolución a escalas de 1:500 son fundamentales para la identificación de las situaciones.

- El sistema de indicadores propuesto podría vincularse y desarrollarse más a fondo dentro de los planes de ordenamiento y manejo de las cuencas (POMCAS) y/o de los planes integrales de manejo de las micro cuencas (PIOMS), implementándose como un complemento para una aproximación más específica en el seguimiento del estado ecológico de los sistemas hidrográficos y sus componentes en el contexto urbano, vinculando de forma integral el concepto de la conectividad ecológica dentro de las dinámicas del planeamiento urbano al interior de la ciudad.

- La base metodológica y sistema de indicadores propuesto quedan abiertos para su profundización, desarrollo e implementación no solo en el contexto de la ciudad de Medellín sino incluso para su adaptación a algunos modelos de ciudad similares donde es igualmente necesario poder valorar los componentes principales de sus sistemas hidrográficos bajo el criterio de la conectividad ecológica.

- Lo que no se mide no se puede mejorar, ó al menos no de forma coherente con las condiciones ecológicas y las necesidades de un lugar.

## BIBLIOGRAFÍA

### *Referencias directas*

- MCHARG, Ian L. **Proyectar con la Naturaleza**. Barcelona. Editorial Gustavo Gili. Edición 2000. 197 p.
- HOUGH, Michael. **Cities and Natural Process**. New York. Routledge. 1995. 326 p.
- GILBERT, O.L. **The Ecology of Urban Areas**. New York. Chapman and Hall. 1989. 380 p.
- LINDH, Gunnar. **Water and the City**. Paris. UNESCO. 1983. 50 p.
- MULLER, Norbert; WERNER, Peter; JELCEY, John G. **Urban Biodiversity and design**. Wiley –Blackwell. 2010. 611 p.
- CANGUEIRO, José. **A Estrutura Ecológica e os Instrumentos de Gestão do Território**. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte CCDRN. Portugal. 2005. 98 p.
- TAYLOR, Philip D.; FAHRIG, Lenore; HENEIN, Kringen; MERRIAM, Gray. **Connectivity is a Vital Element of Landscape Structure**. Revista Okios Vol. 68, No. 3. (Dec., 1993). p. 571-573.
- MARULL, J ; MALLARACH, J.M. **La conectividad ecológica en el área metropolitana de Barcelona**. Barcelona. Revista ecosistemas, año XI N.2. Mayo – Agosto. 2002. 22 p.
- MALLARACH, J.M. **Análisis y diagnóstico de la conectividad ecológica y paisajística en el sector sur del Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz**. Vitoria – Gasteiz. 2004
- RUEDA, Salvador. El Urbanismo ecológico. **Sistema de Indicadores y Condicionantes para Ciudades Grandes y Medianas**. Agencia de Ecología Urbana de Barcelona – Ministerio de Medio Ambiente y Medio rural y marino de España. 2011. 82 p.
- AGENCIA CATALANA DEL AGUA. **Protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos**. Barcelona. 2006. 139 p.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. CORNARE. CORANTIOQUIA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN. **Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Aburrá (POMCA)**. Medellín. 2007. 237p.
- CORANTIOQUIA. INSTITUTO MI RIO. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN. **Plan de Ordenamiento y Manejo (PIOM) de la parte baja de la Microcuenca de la quebrada la Iguana**. Convenio 053. Medellín. 2001.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. **Plan de Ordenación y Manejo (PIOM) de la Microcuenca de la quebrada Santa Elena**. Consorcio Epam s.a. es CPT. Contrato N.600. Medellín. 2006.
- CORANTIOQUIA. SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE, MUNICIPIO DE MEDELLIN. **Formulación y Plan de Ordenación y Manejo (PIOM) de la Microcuenca Altavista**. Contrato N. 4700024033. Medellín. 2006.

ALCALDIA DE MEDELLIN - EDU. **Informe N.001, Parque lineal para la quebrada la Hueso.** 2009. 46 p.  
ALCALDIA DE MEDELLIN - EDU. **Informe N.002, Parque lineal para la quebrada la Tinaja.** 2009. 41 p.  
ALCALDIA DE MEDELLIN - EDU. **Informe N.003, Parque lineal para la quebrada el Salado.** 2009. 42 p.  
ALCALDIA DE MEDELLIN - EDU. **Informe N.004, Parque lineal para la quebrada Santa Elena.** 2010. 49 p.

BOTERO HERRERA, Fernando. **Medellín 1890-1950 Historia urbana y juego de intereses.** Medellín. Editorial Universidad de Antioquia. 1996. 360p.

TYRWHITT, Jaqueline.; SERT, Josep Lluís y ROGERS, Ernesto N. **The Heart of the City: towards the humanisation of urban life (International Congresses for Modern Architecture).** London: Lund Humphries, 1952.

CARDENAS SALAS, José Daniel. **Aproximación a la huella hídrica directa en el territorio de Medellín y su área metropolitana a 2009.perspectivas hacia un desarrollo urbano más sostenible en la cuenca del río Aburrá.** Tesina de Master en Arquitectura Energía y Medio ambiente. Universidad Politécnica de Cataluña. 2010. 86 p.

### **Referencias electrónicas**

COMISION EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE. **Artículo Una Infraestructura verde.** Unión Europea. Junio de 2010. 4 p.

[http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/green\\_infra/es.pdf](http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/green_infra/es.pdf)

MONSALVE CUARTAS, Ana maría. **Artículo: Redes ecológicas en la estructura urbana de la ciudad de Medellín (Colombia).** Cuaderno de Investigación Urbanística nº 65. Santiago de Chile. Julio / agosto 2009. p.75-88.

[http://www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/publicaciones/ciur65\\_4.pdf](http://www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/publicaciones/ciur65_4.pdf)

MORLANS, María Cristina. **Estructura del Paisaje (matriz, parches, bordes, corredores) sus funciones fragmentación del hábitat y su efecto borde.** Documento área ecología. Editorial Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca. 12 p.

<http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/004-estructuradepaisaje.pdf>

COOK, Edward. **Landscape structure indices for assessing urban ecological networks.** Landscape and Urban Planning, No 58. 2002. p.269-280.

[http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/recursos\\_naturales\\_2/Economia/Documentos%20ejercicio%20final/Urban\\_corridor/Urban%20networks.pdf](http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/recursos_naturales_2/Economia/Documentos%20ejercicio%20final/Urban_corridor/Urban%20networks.pdf)

CASTRO BONAÑO, J. Marcos. **Indicadores de desarrollo sostenible urbano, Una aplicación para Andalucía.** Tesis doctoral. Instituto de Estadística de Andalucía. 2004 - 374 p.

[www.ciudad21.org/media/download.php?id\\_media=1456](http://www.ciudad21.org/media/download.php?id_media=1456)

ROSGEN, David L. **a geomorphological approach to restoration of incised rivers.** Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision. 1997. 11 p.

[http://www.wildlandhydrology.com/assets/A\\_Geomorphological\\_Approach\\_to\\_Restoration\\_of\\_Incised\\_Rivers.pdf](http://www.wildlandhydrology.com/assets/A_Geomorphological_Approach_to_Restoration_of_Incised_Rivers.pdf)

MIGUELEZ, Epifanio M. **Corredor Verde del Jamuz a su paso por Jiménez** .documento web. actualización 13-08-2010.

[http://www.jiminiegos36.com/corredor\\_verde\\_jamuz.htm](http://www.jiminiegos36.com/corredor_verde_jamuz.htm)

FRANCO IDARRAGA, Freddy L. **Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas**. #31 revista de ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.. Enero - Junio de 2010, pp. 97-108.

<http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/A9%2031.pdf>

FRANCO IDARRAGA, Freddy L. **Urban River Restoration in Colombia**. Tesis doctoral. Politécnico di Milano. 2010. 313 p.

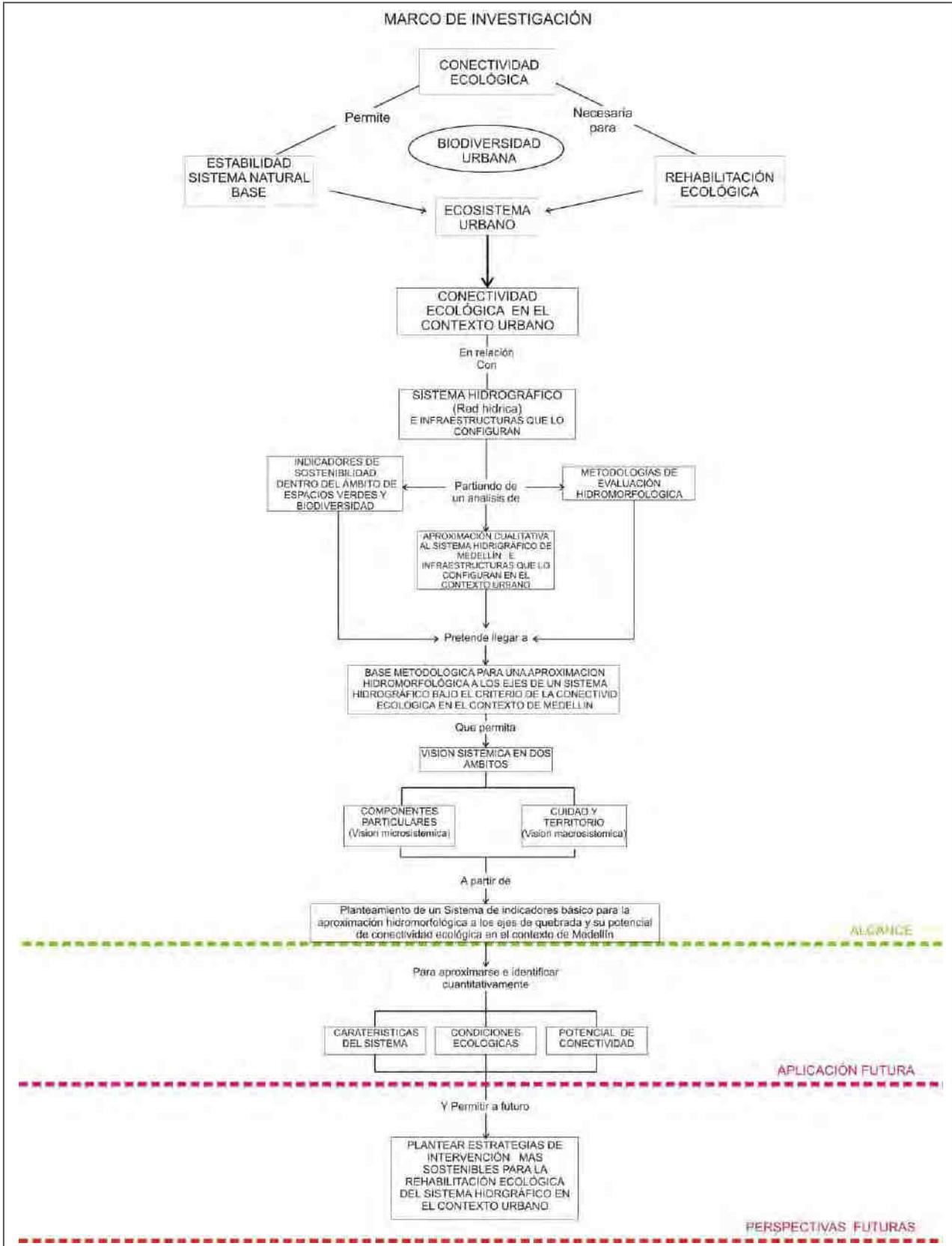
[http://especiales.universia.net.co/dmdocuments/franco\\_freddy.pdf](http://especiales.universia.net.co/dmdocuments/franco_freddy.pdf)

MUNICIPIO DE MEDELLIN. **Acuerdo 046 del 2006. Plan de ordenamiento territorial POT Medellín**. 2006. 411 p.

[http://www.lonja.org.co/info\\_web/docs\\_publicos/ACUERDO%20046%20DE%202006%20%20POT%20MEDELLIN.pdf](http://www.lonja.org.co/info_web/docs_publicos/ACUERDO%20046%20DE%202006%20%20POT%20MEDELLIN.pdf)

Base metodológica para una aproximación hidromorfológica al estado de la conectividad ecológica en los ejes de un sistema hidrográfico e infraestructuras que lo configuran en el contexto urbano

**ANEXOS**



**ANEXO 1. CUADRO SINÓPTICO- MARCO DE INVESTIGACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA**

CODIGO DEL TRAMO:		CALIDAD DE RIBERAS (Indice QBR)		
<b>GRADO DE CUBIERTA DE LA ZONA DE RIBERA</b>		<b>Puntos (0-25)</b>		
> 80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera		25		
50-80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera		10		
10-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera		5		
< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera		0		
<i>Modificación de la puntuación</i>				
<i>Si la conectividad entre bosque ribera y ecosistema forestal adyacente es total</i>		+10		
<i>Si la conectividad entre bosque ribera y ecosistema forestal adyacente &gt; 50</i>		+5		
<i>Si la conectividad entre bosque ribera y ecosistema forestal adyacente 25-50</i>		-5		
<i>Si la conectividad entre bosque ribera y ecosistema forestal adyacente &lt; 25</i>		-10		
<b>ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA</b>		<b>Puntos (0-25)</b>		
Recubrimiento de árboles > 75 %		25		
Recubrimiento de árboles 50-75 %, o recubrimiento de árboles 25-50 % y en el resto de la cubierta los arbustos >25 %		10		
Recubrimiento de árboles <50 % y en el resto de la cubierta los arbustos 10-25 %		5		
Recubrimiento de árboles y arbustos < 10 %		0		
<i>Modificación de la puntuación</i>				
<i>Si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos &gt; 50 %</i>		+10		
<i>Si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos entre 25-50 %</i>		+5		
<i>Si existe una buena conexión entre árboles y arbustos con sotobosque</i>		+5		
<i>Si existe distribución regular (linealidad) en los pies de árboles y sotobosque &gt; 50%</i>		-5		
<i>Si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad</i>		-5		
<i>Si existe distribución regular (linealidad) en los pies de árboles y sotobosque &lt; 50%</i>		-10		
<b>CALIDAD DE LA CUBIERTA</b>		<b>Puntos (0-25)</b>		
Tipo Geomorfológico: (anexo II QBR)	Tipo1	Tipo2	Tipo3	
<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3				
Número de especies diferentes de árboles autóctonos	>1	>2	>3	25
Número de especies diferentes de árboles autóctonos	1	2	3	10
Número de especies diferentes de árboles autóctonos	-	1	1-2	5
Sin árboles autóctonos				0
<i>Modificación de la puntuación</i>				
<i>Si existe una continuidad de la comunidad a lo largo del río, uniforme ocupando &gt; 75% de la ribera (en toda su anchura &gt;3 m ancho)</i>		+10		
<i>Si existe una continuidad de la comunidad a lo largo del río entre 50-75%</i>		+5		
<i>Si existe una disposición en galería de diferentes comunidades</i>		+5		
<i>Si el número de especies de arbustos es:</i>	>2	>3	>4	+5
<i>Si existen estructuras construidas por el hombre</i>		-5		
<i>Si existe alguna especie de árbol introducida (alóctonas) aislada</i>		-5		
<i>Si existen especies de árbol introducida (alóctonas) formando comunidades</i>		-10		
<i>Si existen vertidos de basuras</i>		-10		
<b>GRADO DE NATURALIDAD DEL CANAL FLUVIAL</b>		<b>Puntos (0-25)</b>		
El canal del río no ha estado modificado		25		
Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal		10		
Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río		5		
Río canalizado en la totalidad del tramo		0		
<i>Modificación de la puntuación</i>				
<i>Si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río</i>		-10		
<i>Si existe alguna presa u otra infraestructura transversal en el lecho del río</i>		-10		
<b>PUNTUACIÓN TOTAL: (0-100)</b>				

