

# **Gestión Integral de Agua Urbana en la Microcuenca La Herrera.**

## **Caso de estudio Centralidad Santo Domingo. Medellín, Colombia.**

Alumna: Carmen Elisa Hurtado Figueroa  
Tutor: Francesc Magrinyà Torner

**Tesina Final de Máster en Sostenibilidad**  
**Especialidad de Infraestructuras, Ciudad y Territorio**  
**Universitat Politècnica de Catalunya**

Junio de 2012

**Título de la tesina**

**Gestión integral de agua urbana en la micro cuenca La Herrera. Caso de estudio Centralidad Santo Domingo. Medellín, Colombia.**

**Datos de identificación del estudiante y director de tesis**

**Estudiante:**

Carmen Elisa Hurtado Figueroa  
Estudiante de Máster de Sostenibilidad  
Universidad Politécnica de Cataluña  
Email: carmenhf@gmail.com

**Director del Proyecto:**

Profesor: Francesc Magrinya Torner  
Departamento de infraestructura, transporte y territorio  
Universidad Politécnica de Cataluña  
Email: francesc.magrinya@upc.edu

*A Leo, por sus horas, sus días y sus noches  
Y a mi **Familia***

*Agradecimientos.*

*A las personas que me dieron apoyo*

*Leonel Torres*

*Ángeles Ortiz*

*Daniel Viade*

*Grupo Aquasost*

*Francesc Magrinya*

## 1. Tabla de contenido

1. Tabla de contenido .....	4	6. Gestión Integral de Agua Urbana (GIAU) .....	19
2. Resumen del proyecto .....	7	7. Diseño urbano para la gestión de agua. DUGA .....	20
3. Motivación .....	7	8. Resiliencia en la gestión de agua .....	24
4. Justificación.....	8	CAPITULO II .....	26
5. Definición de los objetivos del proyecto de investigación.....	9	ESTADO DEL ARTE.....	26
5.1. Objetivo General .....	9	1. Introducción. ....	26
5.2. Objetivos específicos.....	9	2. Problema Urbano en Colombia.....	26
6. Metodología .....	9	3. Desarrollo Urbano en Medellín y problemática Hídrica .....	26
7. Estructura del documento .....	11	4. Proceso de transformación de Medellín .....	27
8. Glosario y definiciones.....	11	4.1. Proceso de transformación urbana Zona Nororiental.....	27
8.1. Lista de acrónimos y siglas .....	11	4.2. El PUI Nororiental .....	27
8.2. Glosario .....	12	4.2.1. Objetivos PUI.....	28
CAPITULO I.....	14	5. Microcuenca La Herrera .....	32
MARCO TEÓRICO.....	14	5.1. Introducción .....	32
1. La ciudad y su relación con la actual crisis ecológica.....	14	5.2. Características generales de la micro cuenca urbana de la Herrera. ....	32
2. Alteración del balance hídrico natural.....	14	5.3. Proceso de urbanización de la zona nororiental de Medellín y la micro cuenca de la Herrera .....	33
3. Aspectos técnicos de la gestión de agua.....	16	5.4. Situación actual de la micro cuenca la Herrera .....	35
4. La sostenibilidad en la gestión de los recursos hídricos.....	17	5.5. Características de la gestión hídrica en la Microcuenca.....	36
5. Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas (GICH) .....	18	5.5.1. Vertimientos.....	36



5.5.2. Consumos.....	37	8.1.2. Problemáticas urbanas y ambientales identificadas por la normativa. ....	45
5.5.3. Usuarios y captaciones .....	37	8.1.3. Objetivos de la normativa .....	46
5.5.4. Afloramientos .....	38	8.2. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Rio Aburra (POMCA).....	47
5.5.5. Análisis de la calidad del agua .....	38	8.2.1. Descripción del Documento .....	47
5.6. Problemáticas detectadas.....	41	8.2.2. Problemáticas identificadas por la normativa .....	47
5.7. Visión de la microcuenca a futuro desde la normativa.....	41	8.2.3. Objetivos de la normativa .....	47
5.7.1. Plan municipal de recuperación de microcuencas.....	41	8.3. Plan Integral de Ordenamiento de la Microcuenca la Herrera. (PIOM).....	48
5.7.2. Actuaciones realizadas sobre la microcuenca La Herrera y oportunidades de mejora .....	42	8.3.1. Descripción del Documento .....	48
CAPITULO III .....	44	8.3.2. Problemáticas ambientales y sociales identificadas por la normativa .....	48
ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL DE LAS MICROCUENCAS URBANAS Y SU RELACIÓN CON LAS DIRECTRICES DE DESARROLLO URBANO DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN. CASO DE ESTUDIO MICROCUENCA DE LA HERRERA. ....	44	8.3.3. Objetivos de la normativa .....	49
6. Introducción .....	44	8.4. Manual del Espacio Público (MEP).....	49
7. Metodología .....	44	8.4.1. Descripción del Documento .....	49
8. Principales directrices de ordenamiento urbano en Medellín.....	45	8.4.2. Problemáticas identificadas por la directriz .....	50
8.1. Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín (POT).....	45	Objetivos de la directriz .....	50
8.1.1. Descripción del Documento .....	45	8.4.3. Gestión actual del agua urbana en Medellín .....	51
Entidad: .....	45	9. Análisis de las normativas.....	52
		CAPITULO IV .....	56

ESTRATEGIAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO DE LA MICROCUENCA LA HERRERA DESDE EL DISEÑO URBANO. ....	56	2.9. Estrategias para gestionar el consumo (Manzanas Piloto) .....	102
Introduccion .....	56	2.9.1. Escenario actual .....	105
2.1. Criterios para la selección del área de intervención .....	56	2.9.2. Escenario 1 - Tecnologías de ahorro.....	106
2.2. Descripción del área de intervención .....	56	2.9.3. Escenario 2 – Captacion de agua lluvia (Manzana 1) .....	107
2.3. Pendientes.....	60	Escenario 2 – Captacion de agua lluvia (Manzana 2) .....	108
2.4. Subcuencas .....	60	2.9.4. Escenario 3 – Captacion de agua lluvia (Manzana 1) .....	109
2.5. Proyecto Parque ambiental Santo Domingo.....	63	Escenario 3 – Captacion de agua lluvia (Manzana 2) .....	110
2.5.1. Proyecto demostrativo y visión a futuro de la microcuenca urbana .....	63	2.10. Gestión de la vulnerabilidad.....	111
2.5.2. Estrategias de recuperación ambiental propuestas en el proyecto demostrativo.....	63	2.11. Servicios ecosistemicos.....	112
2.6. Componentes del parque Ambiental Santo Domingo .....	66	2.12. Diseño fina .....	114
2.6.1. La Educacion Ambiental .....	66	Discusión y conclusiones .....	118
2.7. Estrategias para gestionar la contaminación.....	68	Bibliografía .....	120
2.7.1. Sistema de alcantarillado separativo .....	68	Lista de figuras.....	122
2.7.2. Humedales construidos subsuperficiales de flujo horizontal .....	73	Anexos .....	127
.....	85		
2.8. Estrategias para gestionar el balance hidrico.....	86		
2.8.1. Zonas de bioretencion .....	86		
2.8.2. Buffer strips.....	97		

## 2. Resumen del proyecto

Desde mediados del siglo XX las ciudades colombianas, empezaron a sufrir un proceso acelerado de urbanización y crecimiento demográfico, fenómenos que impidieron una adecuada planificación, tanto de los recursos naturales como del territorio. Uno de los sistemas naturales más afectados por este fenómeno es la red hídrica.

El proyecto de investigación explora estrategias que permitan gestionar el agua urbana a través del espacio público, con el fin de aplicarlo a un tipo de proyecto denominado parque lineal o parque borde de quebrada, el cual hace parte del plan estratégico de espacio público y medio ambiente de la ciudad de Medellín. Desde la profesión de arquitecta urbanista de quien desarrolla el estudio, se busca complementar el diseño de estos proyectos con herramientas técnicas que permitan gestionar integralmente el agua urbana.

Para demostrar la aplicabilidad de conceptos se trabajó sobre el diseño de un caso de estudio concreto, denominado Parque Ambiental Santo Domingo, ubicado en la Comuna Nororiental de la ciudad de Medellín.

La investigación bibliográfica y el proyecto demostrativo muestran la factibilidad de aplicar tecnologías sostenibles como humedales artificiales, zonas de bioretención, biffer strips, en el diseño del espacio público, demostrándose de esta manera, el potencial que tiene la inclusión de los aspectos mediambientales, dentro de los proyectos de renovación urbana. Adicionalmente se identificaron líneas de investigación a futuro en el tema.

## 3. Motivación

Durante el año 2005, participé como arquitecta diseñadora en el proyecto del parque lineal Quebrada La Herrera, el cual buscaba dar respuesta a la necesidad de recuperación ambiental y generación de espacio público en la zona Nororiental de Medellín.

El interés de retomar este proyecto, radica en la oportunidad que representa este tipo de intervenciones para alcanzar la apuesta ambiental de la ciudad, la cual se ha planteado alcanzar objetivos tales como la descontaminación del río Medellín y de todos sus afluentes, los cuales presentan en su mayoría altos niveles de contaminación por actividad antrópica. El Parque Lineal La Herrera se estableció como proyecto piloto para intervenir quebradas o microcuencas con altos niveles de invasión y deterioro ambiental en el marco del programa Parques Lineales de Medellín 2004-2007.

Basada en esta experiencia profesional, se toma esta microcuenca como el objeto de estudio de la presente tesis de máster, buscando releer la problemática y dar soluciones desde el diseño urbano, basadas ahora en criterios ambientales y de gestión integral del recurso hídrico. La microcuenca La Herrera es una unidad territorial altamente deteriorada por intervenciones humanas, siendo también, un espacio público susceptible de ser renovado a partir de una reconceptualización y reorientación de sus usos actuales.

#### 4. Justificación

Colombia ha experimentado un proceso acelerado de urbanización y transición demográfica desde la década los 50's. Esta dinámica de crecimiento urbano impidió una adecuada planificación urbana que permitiera entender la naturaleza del territorio y las potencialidades medioambientales de los espacios urbanos. Uno de los sistemas naturales más afectados por este fenómeno es la red hídrica. Actualmente se considera que todas las cuencas hidrográficas vinculadas a centros urbanos en Colombia tienen un alto grado de deterioro y contaminación, convirtiéndose su recuperación en uno de los desafíos más importantes para la administración pública. Adicionalmente, y pese a la gran cantidad de agua dulce que posee Colombia, las cuencas del Río Magdalena y Río Cauca, donde se concentra la mayor cantidad de población urbana del país, presentan además un alto grado de estrés hídrico (IDEAM, 2010).

En los últimos 60 años, La cuenca del Río Aburrá, donde se emplaza la ciudad de Medellín, ha tenido un incremento de población del 653% y un incremento de la ocupación del territorio del 774%. Actualmente el 25% del territorio de la ciudad de Medellín, está conformado por barrios precarios. Esta configuración en el modelo de ocupación ha generado deterioro, destrucción de áreas de protección y de reservas naturales, amenaza de la biodiversidad, de las fuentes de agua y de los demás servicios ambientales, factores que derivan en un incremento de la vulnerabilidad y aumento de situaciones de riesgo por el manejo inadecuado que se hace del suelo con consecuencias económicas, sociales y ambientales negativas para la sociedad en conjunto (Área metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

A partir de los años noventa, las administraciones públicas, la academia y las organizaciones no gubernamentales, se han puesto en la tarea de estudiar estrategias de recuperación y han empezado a implementar programas que buscan transformar la calidad de vida de los habitantes de los barrios marginales. Esta apuesta se ha traducido en proyectos de renovación urbana, construcción de equipamientos y dotación de espacio público.

El proyecto de investigación busca explorar como por medio del diseño y construcción de espacio público, se puede aplicar herramientas para gestionar de una forma integral el agua urbana, con el fin de lograr intervenciones que potencialicen la recuperación ambiental de las microcuencas de la ciudad. Se trabaja sobre la premisa de que la gestión de agua urbana constituye uno de los grandes retos que aborda la ciudad de Medellín y que en miras a su apuesta por la renovación urbana, el nuevo espacio público podrá convertirse en una gran oportunidad para gestionar el recurso hídrico (Departamento administrativo de planeación municipal de Medellín, 2006).

En las últimas décadas se han desarrollado conceptos como el Water Sensitive Urban Design (Water by Design, 2009), que se basa en la aplicación de estrategias y herramientas técnicas, sociales y normativas complementarias con el objetivo de disminuir la demanda de agua, controlar la contaminación, restituir el balance hídrico y restaurar las condiciones medioambientales de las cuencas.

## 5. Definición de los objetivos del proyecto de investigación

### 5.1. Objetivo General

•Proponer mediante el desarrollo de un proyecto demostrativo, herramientas conceptuales, técnicas y de diseño urbano, que permitan complementar los proyectos de intervenciones en las microcuencas urbanas en la ciudad de Medellín, adicionando aspectos relacionados con la gestión sostenible de agua y la prestación de servicios ecosistémicos.

### 5.2. Objetivos específicos

•Definir conceptos y estrategias de gestión sostenible de agua mediante el diseño urbano aplicables al contexto del caso de estudio.

•Presentar un panorama general de la gestión de agua en el contexto del caso de estudio, analizando y contrastando la visión normativa y la realidad urbana.

•Presentar un proyecto demostrativo que ilustre la posibilidad de gestionar el agua urbana, presentando estrategias y herramientas de gestión orientadas a la recuperación medioambiental de las cuencas y la prestación de servicios ecosistémicos.

•Identificar líneas de trabajo y oportunidades de investigación a futuro

## 6. Metodología

La metodología implementada en el desarrollo de la tesina parte de una revisión bibliográfica en la que se identifican los principales conceptos y estrategias que se vienen desarrollando a nivel internacional relacionados con la gestión de agua urbana.

A partir de esta identificación de conceptos se analiza la realidad de la gestión de agua urbana en la ciudad de Medellín, mediante la selección e identificación de las principales problemáticas de una microcuenca representativa de la ciudad, y el análisis a las normativas que proporcionan los lineamientos de ordenamiento territorial.

Con base a esta información, se selecciona un caso de estudio en el cual se busca incluir dentro del proceso de diseño 5 estrategias de gestión del agua urbana (gestión de vulnerabilidad, gestión de contaminación, gestión de balance hídrico, gestión de consumo, servicios ecosistémicos) mediante la implementación de tecnologías sostenibles, como humedales artificiales, zonas de bioretención, buffer strips, captación de aguas lluvias, huertos comunitarios.

Finalmente se identifican unas posibles líneas de investigación a futuro y de establecen las conclusiones de la investigación.

Dentro del desarrollo de la tesina no se contemplo la factibilidad económica de las propuestas planteadas, porque excede los objetivos planteados. Sin embargo se consultaron experiencias en otros lugares del mundo, a través de los cuales se pudo determinar que es posible implementar estas tecnologías con costos inferiores a los conseguidos con tecnologías tradicionales.

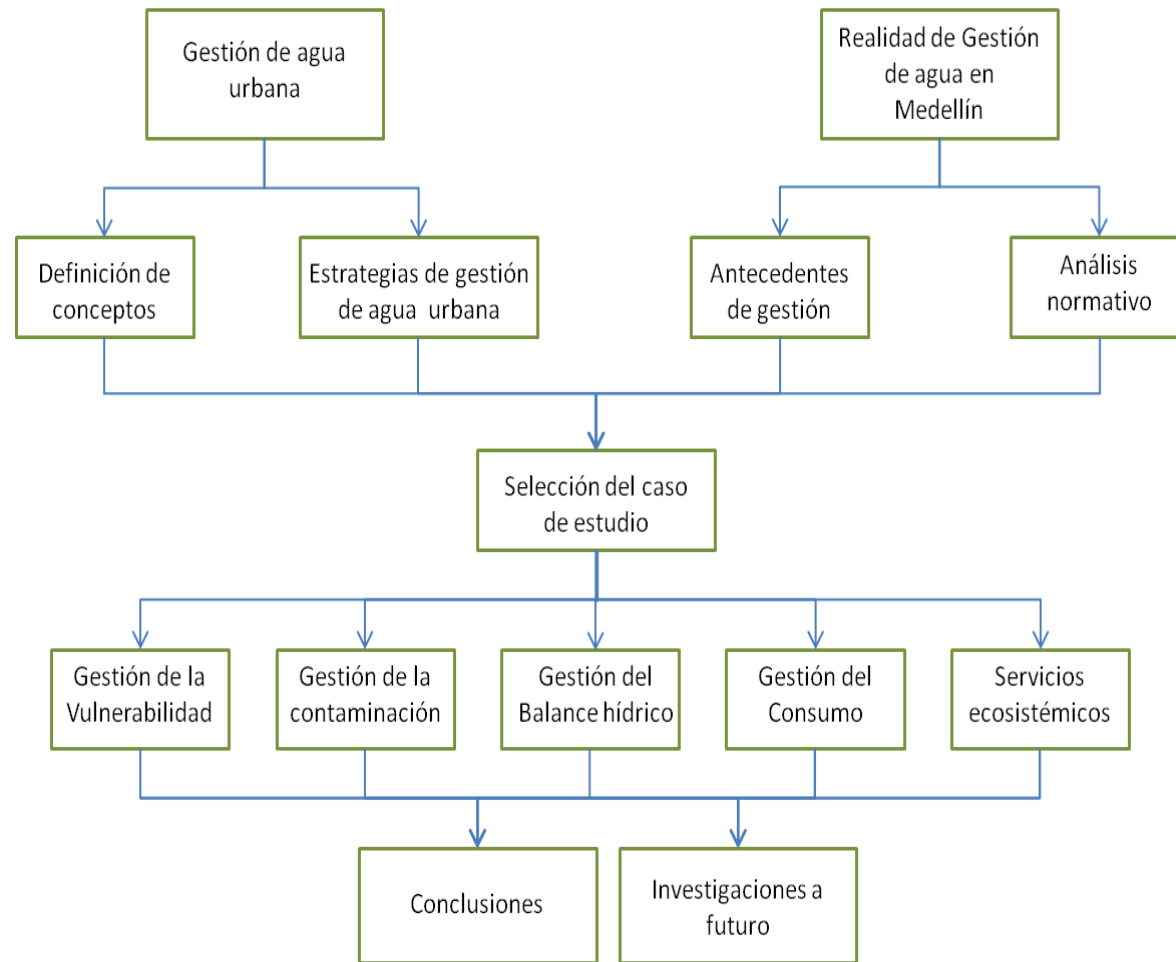


Figura 1: Esquema de la metodología implementada en el desarrollo de la Tesina. Fuente: Elaboración propia.

## 7. Estructura del documento

La tesina se estructura en cinco capítulos

En el **capítulo 1**, se exponen los principales conceptos relacionados con la gestión del agua urbana, en base a los cuales se desarrollara más adelante el argumento de la Tesina.

En el **capítulo 2** se busca situar al lector en el contexto actual de la ciudad de Medellín a nivel de desarrollo urbano y su relación con la gestión del recurso hídrico. Se aborda rápidamente el desarrollo urbano de la ciudad en las últimas décadas y un poco más detallado el proceso de renovación urbana que ha vivido la ciudad en los últimos años. Finalmente se contextualiza la microcuenca que servirá como escenario de estudio.

En el **capítulo 3** se analizan las directrices que actualmente rigen los procesos de ordenación del territorio y diseño urbano de la ciudad de Medellín, y la manera en que estas contemplan el tema de gestión de agua urbana, con el fin de establecer si existe una clara complementariedad entre los objetivos y las estrategias propuestas en estas normativas y contrastarlas con la realidad de la gestión de agua en el contexto de Medellín.

El **capítulo 4** consiste en el desarrollo del caso de estudio de la tesina, en el cual se aplicaran estrategias de gestión integral del agua urbana, con la finalidad de lograr la recuperación ambiental de un sector de la microcuenca La Herrera por medio de un proyecto de espacio público.

El **capítulo 5**, presenta la discusión y conclusiones y las posibles investigaciones a futuro.

## 8. Glosario y definiciones

### 8.1. Lista de acrónimos y siglas

**CEPAL:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

**DANE:** Departamento Administrativo Nacional de Estadística, [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)

**DUGA:** Diseño urbano para la gestión de agua

**EDU:** Empresa de Desarrollo Urbano <http://www.edu.gov.co>

**EEPPM:** Empresas Públicas de Medellín.

**GICH:** Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

**GIAU:** Gestión Integral de Agua Urbana

**IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)

**IWA:** International Water Association

**PUI:** Proyecto urbano Integral

**MEP:** Manual del Espacio Público

**PIOM:** Plan Integral de Ordenamiento de Microcuencas

**POMCA:** Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburra

**POT:** Plan de Ordenamiento Territorial de Colombia

**UNEP:** United Nations Environment Programme.

**UNESCO:** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

**SUDS:** SUSTAINABLE URBAN DRENAGE SYSTEM

**WSUD:** WATER SENSITIVE URBAN DESIGN

## 8.2. Glosario

**BALANCE HÍDRICO:** El concepto de **balance hídrico** se deriva del concepto de balance de materia, es decir, que es el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado.

**BUFFER STRIP (Franjas Vegetales de amortiguamiento):** Área de tierra mantenida con vegetación permanente que ayuda a controlar la calidad del aire, suelo y agua, y prevenir problemas ambientales relacionados con la contaminación difusa.

**CUENCA:** Se entiende por cuenca hidrográfica la porción de territorio drenada por un único sistema de drenaje natural. Una cuenca hidrográfica se define por la sección del río al cual se hace referencia y es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada «divisor de aguas» hidrológicos y, más recientemente, a partir de los años 1970, para la planificación racional del uso de los recursos naturales.

**CUENCA URBANA:** Área de terreno urbano cuyos escurrimientos superficiales y sistemas de drenaje confluyen en un único punto de descarga hacia colectores de mayor jerarquía, terreno abierto o cursos de agua.

**COLMATACION DEL SUELO:** Se dice que un suelo está colmatado, cuando, su permeabilidad original se ha reducido sustancialmente, a causa del progresivo entupimiento de los poros existentes entre sus partículas, con materiales finos transportados en suspensión por el agua que se va infiltrando, en las etapas iniciales del proceso.

**CONTAMINACION DIFUSA:** Se define como la contaminación por una fuente no puntual, pudiendo ser producto del aporte de numerosas fuentes diferentes y sin una solución específica para solucionar el problema, haciéndola difícil de regular. Este tipo de contaminación es actualmente la principal causa de contaminación del agua y el aire.

**DREN FILTRANTE:** Zanjas poco profundas rellenas de material filtrante (granular o sintético), con o sin conducto inferior de transporte, concebidas para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas, con el fin de transportarlas hacia aguas abajo. Además pueden permitir la infiltración y la laminación de los volúmenes de escorrentía.

**ESCORRENTIA:** La escorrentía es un término geológico de la hidrología, que hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo.



**EROSION:** La **erosión** es la degradación y el transporte de material o sustrato del suelo, por medio de un agente dinámico, como son el agua, el viento, el hielo o la temperatura. Puede afectar a la roca o al suelo, e implica movimiento, es decir, transporte de granos.

**EVOTRANSPIRACION:** Se define la evapotranspiración como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.

**HUMEDAL CONSTRUIDO:** Un humedal artificial o construido es un sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales domésticas de poca profundidad y en el que se siembran especies acuáticas encargadas de purificar el agua mediante procesos naturales.

**HUERTOS URBANOS:** El Huerto Urbano es un sistema modular que permite el cultivo de pequeñas parcelas en cualquier lugar deseado, bastan unos pocos metros cuadrados para instalarlo y ponerlo en funcionamiento. <http://www.totcompost.com>

**MICROCUENCAS:** Son los afluentes a los ríos secundarios, entiéndase por caños, quebradas, riachuelos que desembocan y alimentan a los ríos secundarios.

**PLAN URBANO INTEGRAL:** Un Proyecto Urbano Integral es un instrumento de intervención urbana que abarca las dimensiones de lo físico, lo social y lo institucional, con el fin de resolver problemáticas específicas sobre un territorio definido con, colocando todas las herramientas del desarrollo de forma simultánea en función del área de intervención.

**QUEBRADA:** Arroyo o río pequeño o riachuelo, de poco caudal, no apto para la navegación o la pesca significativa.

**REDUCTORES DE CAUDAL:** Los reductores de caudal son dispositivos que se acoplan a las griferías domésticas, reducen el flujo pero mantienen la presión. Los reductores de caudal se presentan con diferentes estrategias: algunos mezclan el agua con aire reduciendo su flujo, la boquilla y el difusor consiguen un aumento de la velocidad de circulación de agua y una depresión que facilita la entrada de aire por aspiración.

**SANITARIOS DE BAJO CONSUMO:** Los inodoros de bajo consumo de agua son los que trabajan con volúmenes de 6 litros o menos de agua.

**SUB CUENCA:** Los afluentes. Son los ríos secundarios que desaguan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada sub-cuenca.

**VERTIMIENTO:** descarga de cualquier cantidad de material o sustancias ofensivas a la salud pública.

**ZONAS DE BIORETENCIÓN:** Superficie de terreno vegetado que permiten la desconexión de zonas impermeables. Están formados por una capa de vegetación apoyada sobre una cama de arena, y bajo ella por una tubería de drenaje subterráneo. Se diseñan para recibir las aguas lluvias desde superficies impermeables, retenerlas y almacenarlas para luego descargarlas controladamente al sistema de drenaje convencional o para usos urbanos determinados por su calidad y potencial de uso.

## CAPITULO I MARCO TEÓRICO

### 1. La ciudad y su relación con la actual crisis ecológica

La ciudad es el fenómeno de afectación territorial más importante de los últimos 200 años. Actualmente se puede afirmar que no existe un solo aspecto de la vida del ser humano y de su entorno que no se vea influenciado o afectado por la expansión de la población y su concentración en zonas urbanas (CEPAL, 1999).

La urbanización, la industrialización y el crecimiento demográfico han modificado las características naturales del ciclo hídrico, complejizando su funcionamiento. Este hecho ha derivado en alteraciones importantes en las cuencas hidrográficas y en los ecosistemas relacionados con el territorio urbano (Marsalek, 2006).

### 2. Alteración del balance hídrico natural.

El balance hídrico hace referencia a la cantidad de agua que entra en el sistema y la que sale en un intervalo de tiempo determinado. Las características del ciclo hidrológico y el balance hídrico tienen influencia directa sobre procesos como el transporte de contaminantes, el patrón de flujo de nutrientes, la erosión, y los niveles de agua en superficie y en subsuelo, aspectos que determinan la productividad y la capacidad de asimilación de contaminantes.

En las áreas no urbanizadas, la mayor parte del agua lluvia es devuelta al medio a través de la evo transpiración (evaporación directa y transpiración

de la vegetación), una parte menor se filtra al terreno y un porcentaje mínimo se convierte en escorrentía superficial.

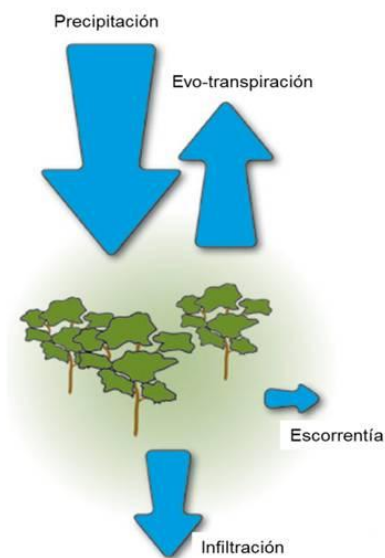


Figura 2: Balance hídrico en áreas no urbanizadas.  
Fuente: (Water by Desing, 2009)

El desarrollo urbano convencional genera dos afectaciones sobre el territorio que modifican el balance hídrico natural: la eliminación de gran parte de la vegetación y el aumento de la superficie impermeable del suelo producto de la construcción de edificaciones y estructuras de movilidad.

Estas afectaciones generan un aumento en el volumen y la velocidad de la escorrentía superficial causado por la disminución de la evo transpiración y

a la pérdida de la capacidad de absorción de agua lluvia del suelo. Paralelamente a esto, el recurso pierde rápidamente su potencial de uso debido a la contaminación difusa que esta arrastra en su recorrido (Marsalek, 2006).

La llamada contaminación difusa se origina por actividades propias del tipo de desarrollo urbano (residencial, comercial e industrial), materiales constructivos de fachadas y tejados, uso de herbicidas, etc., pero principalmente por el uso de vehículos de transporte cuyo combustible es de origen fósil (Gobel, Dierkes, & Coldewey, 2007).

Por otro lado y debido a que el agua no es usualmente gestionada para uso doméstico o industrial, se hace necesario importar grandes cantidades de agua para satisfacer las necesidades propias de las actividades urbanas. Esta agua pierde en forma casi inmediata su potencial de uso, haciéndose necesario tratarla para ser devuelta al medio ambiente.

Estos fenómenos generan consecuencias conflictivas entre las que se destacan (CEPAL 1999; Marsalek, 2006; Mulliss, 1996; Niemczynowicz, 1999, Sydney Water, Stormwater Trust, & UpperParramatta River Catchment Trust, 2004; Water by Desing, 2009):

- El aumento del nivel de contaminación en los ambientes acuáticos con impactos negativos en los ecosistemas.
- Una mayor tendencia de inundaciones severas y un aumento de las áreas afectadas por este fenómeno, debido al aumento de escorrentías superficiales.

- La intensificación de las corrientes en los cursos de agua generando problemas de erosión y sedimentación.
- Aumento generalizado de consumo de agua para usos domésticos o industriales, ocasionando estrés en las fuentes hídricas.
- Afectaciones en los ecosistemas debido al impacto de las infraestructuras y el uso de materiales y energía para la captación, potabilización, suministro y tratamiento de las aguas.
- Cambio en la calidad y cantidad del agua subterránea y alteraciones en el nivel freático del terreno, debido principalmente a infiltraciones de aguas contaminadas, explotación de acuíferos, y a la construcción de estructuras subterráneas como sótanos y vías de transporte. Este cambio en las condiciones del agua subterránea puede producir desestabilización en el suelo con riesgo a edificaciones y construcciones.



Figura 3: Afectación del balance hídrico natural.  
Fuente: Water by Desing. 2009)

### 3. Aspectos técnicos de la gestión de agua.

Las ciudades alteran las características del ciclo hídrico natural mediante las acciones requeridas para la utilización de agua dentro de las áreas urbanas (desviaciones, transvases, almacenaje artificial en embalses, canalización de sistemas), el uso intensivo para industria y agricultura, la consiguiente contaminación originada en estos procesos, la contaminación difusa del agua lluvia y la impermeabilización del suelo que conlleva el proceso de urbanización.

Podemos resumir las etapas de la gestión del ciclo hídrico antropogénico así (Marsalek, 2006):

- Captación – extracción: Suministro de agua municipal y agua de lluvia.
- Potabilización: Conjunto de etapas físicas, químicas o biológicas que garantizan la calidad del agua para consumo humano.
- Distribución: Infraestructura destinada al transporte de agua y entrega en los puntos de consumo.
- Uso: Industrial, domestico, agrícola, recreacional y estético.
- Recolección: Unitaria o separativa.
- Tratamiento: Primario, secundario o terciario según el tipo y concentración de contaminantes.

- Reúso y Retorno al medio: Reúso de agua lluvia o gris previamente tratada. El retorno al medio se hace mediante vertido directo, infiltración o evaporación.

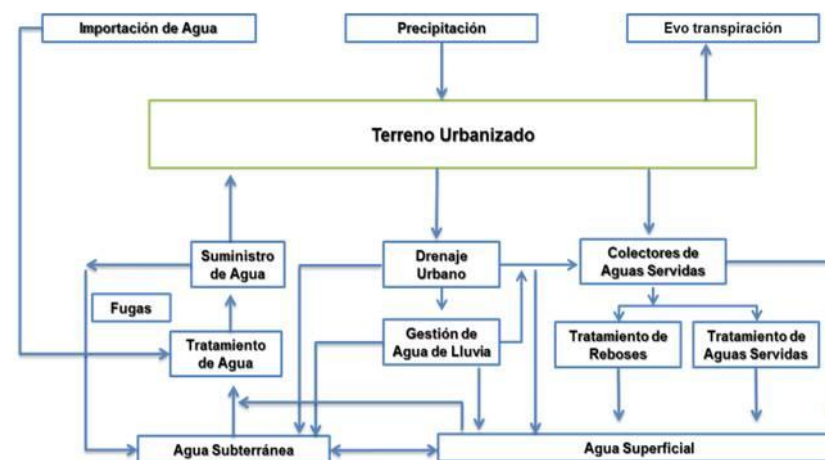


Figura 4: Componentes del ciclo hídrico urbano. Fuente: (Marsalek et al, 2008)

El diseño de la infraestructura de gestión para realizar el ciclo hídrico antropogénico se ha hecho dando respuesta a la necesidad de abastecimiento generalizado, reducir el riesgo a inundaciones y enfermedades, retirar y tratar el agua servida, resolver los inconvenientes del agua estancada y el mejoramiento paisajístico de las áreas urbanas. Sin embargo, su construcción ha generado afectaciones importantes sobre las características del ciclo hídrico y las características medioambientales de las cuencas, efectos que se derivan principalmente de (Furumai, 2008; Marsalek, 2008; Water by Design, 2009):

•**Construcción de redes de transporte de la escorrentía superficial.**

Este sistema se basa en el aumento de la eficiencia hidráulica en el transporte de la escorrentía mediante el incremento de su velocidad. Los efectos más visibles es el aumento de la capacidad de erosión de los flujos de agua, el incremento en la velocidad de los procesos de transporte de materiales y contaminantes y el menor tiempo de respuesta del sistema.

•**Canalización de arroyos y ríos urbanos.**

Por varios motivos la urbanización modifica las características naturales de los cursos de agua. Estos pueden ser canalizados, cubiertos o enterrados, convirtiéndolos en el común de los casos en alcantarillas virtuales. Como consecuencia de este proceso se observa que los ríos urbanos son olvidados por los ciudadanos, quienes solo perciben de estos sus efectos negativos; y se afecta por completo las características naturales de sistema hídrico y su comportamiento, en especial el funcionamiento de las áreas inundables. Como consecuencia fundamental se genera una mayor vulnerabilidad de las áreas urbanizadas frente a situaciones de inundación, ya que ante eventos extremos, el colapso de los sistemas de canalización implican descargas de agua a gran velocidad hacia terrenos bajos.

•**Construcción en subsuelo.**

La urbanización requiere la construcción de infraestructuras de movilidad y de gestión de recursos y residuos que en ocasiones se hacen a nivel subterráneo. Esta construcción puede modificar las características de las capas freáticas, originando cambios de nivel, que pueden afectar construcciones en superficie y ocasionando en casos determinados contaminación de fuentes de agua subterránea.

•**Interferencia de infraestructuras de transporte.**

La construcción de sistemas de movilidad implican gran movilización de terreno y afectan los patrones de drenaje y las características de la escorrentía superficial. Si los

sistemas de movilidad se ubican perpendiculares a la dirección de la pendiente del terreno, estos se comportan como barreras que rompen el flujo natural de la escorrentía; por el contrario, si se ubican en forma paralela, estos se convierten en sistemas de transporte, aumentando las velocidades del flujo y por consiguiente aumentando la capacidad erosiva del agua y el transporte de materiales.

#### 4. La sostenibilidad en la gestión de los recursos hídricos.

A continuación se presentaran algunos conceptos sobre la sostenibilidad en la gestión del agua, tratados por varios autores.

Gleick (Gleick, Loh, Gomez, & Morrison, 1995) la define como la capacidad de hacer uso del agua de manera que se soporte la habilidad de las sociedades humanas para permanecer y florecer en un sitio geográfico y en un futuro indefinido sin socavar la integridad del ciclo hidrológico del agua o de los sistemas ecológicos que dependen de él.

El mismo autor define los siguientes requerimientos para la sostenibilidad de la gestión del agua:

- Accesibilidad a todos las personas con el objetivo de mantener la salud humana.
- Presencia de garantías para la restauración y mantenimiento de la salud de los ecosistemas asociados a recurso hídrico.
- Garantizar estándar mínimos en la calidad del agua. Estos mínimos estarán definidos por las características de la región y de cómo el agua es usada.
- Las acciones humanas no deben perjudicar la capacidad de renovación a largo plazo de las fuentes de agua y ciclos hidrológicos.

- Datos y cifras sobre la disponibilidad, uso y calidad del agua deben recolectarse y ser accesibles para todos los sectores interesados.
- La creación e implementación de mecanismos institucionales para prevenir y resolver conflictos en el uso del agua.
- Las decisiones y políticas en torno al agua deben ser democráticas y asegurar la representación de las partes afectadas y la participación directa de los interesados.

Mays (Mays, 2007) define la sostenibilidad de la gestión del agua como la habilidad para usar el recurso en la calidad y cantidad suficiente para suplir las necesidades humanas y de los ecosistemas a escala local y global con el fin de sostener la vida en el presente y el futuro y proteger a la sociedad de los desastres naturales o daños causados por acción del hombre que puedan afectar la sostenibilidad de la vida.

El autor propone las siguientes consideraciones que implica la sostenibilidad de los recursos hídricos:

- Debe asegurarse la disponibilidad de reservas de agua en circunstancias de cambio climático, sequías, crecimiento poblacional, mientras se preserva la capacidad de responder a las necesidades de las futuras generaciones.
- Debe generarse la infraestructura necesaria para garantizar el cubrimiento de las necesidades humanas y la seguridad alimentaria, mientras se garantiza protección frente a inundaciones y otros desastres naturales.
- Debe garantizarse infraestructuras adecuadas para la gestión del agua de consumo, y para el tratamiento del agua servida antes del devolverse al medio ambiente.

- Deben crearse instituciones adecuadas para la gestión la gestión del suministro y de los excesos de agua.
- La sostenibilidad del agua debe definirse desde una base local, regional, nacional e internacional.

## **5. Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas (GICH)**

La cuenca se define como el territorio delimitado naturalmente por las zonas de escurrimiento de las aguas superficiales que se dirigen hacia el mismo cause. La cuenca como unidad administrativa debe tener en cuenta que sus espacios medioambientales, sus recursos naturales y sus habitantes poseen condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales que les confieren características que particulares.

Actualmente la gestión de recursos hídricos se considera como una estrategia fundamental para la sostenibilidad del desarrollo humano. En este sentido, la cuenca hídrica como unidad territorial de gestión ha adquirido una importancia fundamental en la gestión política administrativa del territorio y en la formulación de planes de desarrollo (Agredo, 2010; Antón, 1996; CEPAL, 1999)

En este punto es necesario diferenciar entre gestión para el desarrollo regional y para el desarrollo de cuencas.

El enfoque del desarrollo regional parte principalmente de aspectos socioeconómicos considerando el desarrollo económico como el factor decisivo para el desarrollo del hombre. La visión regional incorpora la dimensión ambiental como un aspecto subsidiario al principal objetivo social o económico. Bajo este enfoque se fijan metas de crecimiento

económico y posteriormente se trata de adecuar el uso del territorio para alcanzar tales fines. (CEPAL, 1994).

La gestión para el desarrollo de cuencas parte por enfocar las potencialidades y las necesidades de la gestión de los recursos naturales, considerando el agua como el recurso primordial para articular el crecimiento económico, la conservación medioambiental, el desarrollo humano y la equidad social. Este enfoque parte de determinar el potencial de los recursos naturales para utilizarlos con los conocimientos, tecnologías y organización disponible para luego fijar metas sociales, económicas en función de dicho potencial.(CEPAL, 1994)

El desarrollo de regiones parte del análisis de las estructuras socioeconómicas, mientras que el desarrollo de cuencas parte de entender las estructuras naturales. Estas visiones son complementarias, y bajo la óptica de la sostenibilidad deben llegar a puntos de encuentro, donde se equilibre el desarrollo económico y social y la conservación de recursos.

Mientras los límites de las cuencas son estáticos al ser definidos por factores físico geográficos, que se expresan por las divisorias de agua, los límites de una región se rigen por conceptos políticos y administrativos e inclusive por la existencia de vías de comunicación y comercio. Es por esto que la tendencia actual en algunas regiones es tratar de que los límites en las divisiones de aguas coincidan con los límites de regiones.(CEPAL, 1994).

Si bien, la gestión integral de cuencas busca la sostenibilidad de un modelo económico por medio de una gestión completa de recursos, existen enfoques llamados parciales, que abarcan temas como manejo y utilización de aguas lluvia, control de inundaciones, protección de

humedales y ecosistemas acuáticos. Estos enfoques deben estar ligados a planes generales que contemplen el carácter integral de la gestión y que permitan su articulación con planes políticos y sociales en busca de una visión integral de los diferentes procesos de gestión. Existen además procesos asociados a la gestión de cuencas, que pueden ejecutarse en forma paralela y que pueden agruparse en: a) Procesos asociados a la articulación de actores y plataformas legales, b) Procesos de carácter social y c) Procesos de carácter técnico medioambiental.

## **6. Gestión Integral de Agua Urbana (GIAU)**

Actualmente se considera la gestión Integral de Agua Urbana como un componente fundamental de la gestión integral de recursos hídricos. El enfoque de la GIAU está orientado a tratar los problemas específicos que originan las áreas urbanas y periurbanas. (IWA & UNEP, 2002)

Siendo la urbanización un fenómeno que afecta profundamente el ciclo hidrológico en la cuenca donde esta ocurre, la gestión integrada de recursos hídricos permite contribuir en la teoría y práctica de la gestión integral de cuencas. En este sentido autores relacionados con el tema de Gestión de cuencas urbana (IWA & UNEP, 2002; Mays, 2009), ven a la GIAU, no como un fin específico sino como una herramienta en la correcta gestión del sistema hídrico a mayor escala. La gestión urbana debe esforzarse en conectar actividades más allá de los límites urbanos como el suministro de agua a nivel rural, el uso del agua cuenca abajo, y la agricultura.

El término de gestión integrada a nivel urbano requiere que dentro de los planes y políticas de gestión se incluyan consideraciones como el impacto de la gestión sobre la salud humana, la protección medioambiental, la calidad del agua, la accesibilidad física y económica del recurso, la

conservación de los servicios medioambientales asociados a las cuencas hídricas, la recreación y la satisfacción de los distintos actores del ciclo de gestión (UNESCO, 2001).

La gestión Integral de agua urbana comprende una amplia gama de aspectos a nivel técnico, social, legal y económico, destinados a equilibrar el desarrollo urbano con la capacidad de carga de los ecosistemas afectados, incluyendo temas como el uso del suelo, la preservación de la biodiversidad, la calidad del aire y el suelo.

## 7. Diseño urbano para la gestión de agua. DUGA

Dentro de las distintas estrategias destacan visiones desde el diseño urbano, donde se propone que los elementos que constituyen el tejido construido de la ciudad (edificios, vías, áreas verdes) sean componentes de un proceso de gestión, el cual está basado en la implementación de tecnologías verdes, la participación social y en la generación de marcos legales que le den soporte institucional y continuidad en el tiempo.

En las últimas décadas se han desarrollado conceptos como Water Sensitive Urban Design WSUD (Australia), Low development Impact LDI (Estados Unidos) y Sustainable Urban Drenaje Systems SUDS (Reino unido). El primer enfoque se basa en estrategias técnicas, sociales y normativas complementarias con el objetivo de disminuir la demanda de agua, controlar la contaminación, restituir el balance hídrico nacional y restaurar las condiciones medioambientales de las cuencas. El LID y SUDS buscan objetivos similares enfocando sus actuaciones en la correcta gestión del agua lluvia y la escorrentía.

El concepto de DUGA busca integrar dentro del diseño urbano técnicas y estrategias que permitan crear ambientes urbanos más sostenibles, limitando los efectos negativos que las construcciones, las infraestructuras y las actividades humanas tienen sobre el ciclo natural del agua, la calidad del recurso y su potencial de uso (Water by Design, 2009). Este concepto integra la planificación y gestión del suelo y el agua dentro del diseño urbano mediante estrategias técnicas que limitan la construcción de infraestructuras grises de transporte de agua y tratamiento. Esta visión se lleva a cabo mediante una visión holística de la gestión del ciclo hídrico urbano, donde cada componente es administrado en forma integrada.

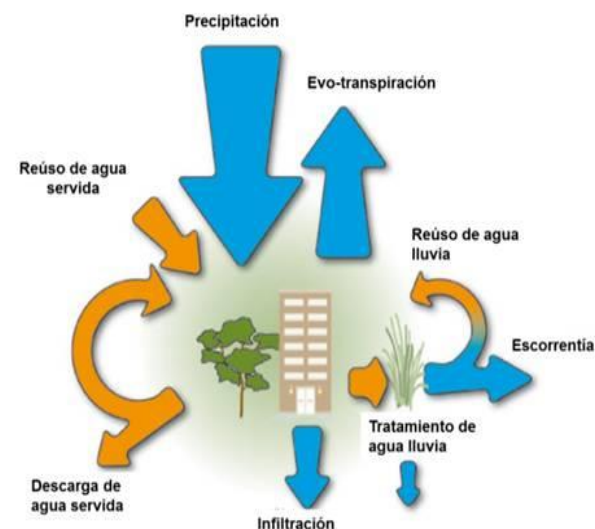


Figura 5: Recuperación del balance hídrico en cuencas urbanas. Fuente: (Water by Desing, 2009)



## Objetivos del DUGA

El DUGA se enfoca en los siguientes objetivos(JSCWSC, 2009; Water by Design, 2009):

- Tratar de recuperar el balance hídrico pre-existente antes del proceso de urbanización.
- Reducir la cantidad de agua transportada tanto en el suministro como en el proceso de tratamiento y retorno al medio natural, mediante estrategias de re-uso y utilización de aguas lluvias.

Estos objetivos involucran acciones específicas en las siguientes áreas:

### Calidad del agua:

- Control de la contaminación difusa.
- Reducir las descargas de agua residual, mediante el reúso de aguas grises.

**Manejo del ciclo hidrológico:** Un objetivo fundamental del DUGA es recuperar el balance hídrico del territorio que existía antes del proceso de urbanización. Algunas consideraciones sobre este tema son:

- Los picos de escorrentía y el volumen de flujo no deben exceder los existentes en el medio natural.
- Debe asegurarse la infiltración de agua para mantener los sistemas subterráneos de agua.

- La frecuencia de inundaciones, que usualmente aumente gracias a la impermeabilización del terreno, debe mantenerse según las condiciones pre-existentes de la cuenca urbanizada.

- Debe propiciarse el uso de agua lluvia y aguas recicladas. La descarga debe hacerse en forma controlada para no modificar la calidad de los sistemas acuáticos naturales.

**Suministro de agua y agua residual:** Beneficios sobre todos los componentes del ciclo hídrico pueden obtenerse a partir de la disminución de los volúmenes de agua de suministro y de agua residual. Algunas estrategias al respecto serían:

- Sustitución del suministro de agua potable: a) irrigación de parques y jardines con agua lluvia tratada o agua gris reciclada, b) proveer de una 3ra línea de suministro a la industria con agua lluvia o agua reciclada y tratada según las calidades de uso requeridas, C) uso de agua lluvia para inodoros, aplicaciones externas y servicios de lavado.

- Mejoramiento del tratamiento de agua lluvia y aguas grises para permitir mayor cantidad de usos.

- Reducción de la demanda de agua potable, y disminución de los volúmenes de agua servida, con beneficios adicionales como la disminución en el volumen de infraestructuras de gestión y la consiguiente reducción de impactos medioambientales producidas por estas.

Un concepto importante en este campo de actuación es ajustar para propósito (fit to purpose), el cual implica que no todos los usos en áreas

residenciales e industriales requieren agua potable, por lo que las estrategias anteriores se hacen necesarias con el objetivo de conservar la integridad de los ecosistemas en las áreas de extracción y de vertido del recurso.



Figura 6: Gestión Integral del ciclo hídrico urbano. Fuente: (Water by Desing)

**Funciones naturales y servicios ambientales:** Las actuaciones se basan en la recuperación y protección de los ecosistemas existentes y la implementación de tecnologías verdes para la gestión del recurso hídrico. Estas últimas buscan además cumplir con objetivos técnicos y mejorar la evapotranspiración del territorio, proporcionar beneficios sociales y paisajísticos no cuantificables.

Objetivos específicos en esta área son:

- Protección y mejoramiento de canales naturales, humedales.
- Protección de acuíferos y agua subterránea.
- Protección de áreas de vegetación natural y la biodiversidad urbana.
- Generación de beneficios sociales asociados a las áreas verdes y ecosistemas urbanos como: posibilitar de ocio y recreación y desarrollar identidad y apropiación del espacio.
- Añadir a la urbanización un valor a largo plazo, mientras se minimizan los costos de desarrollo.

#### Aspectos operacionales:

- Desarrollar análisis de ciclo de vida de las propuestas técnicas.
- Generar planes y normativas que aseguren el seguimiento y mantenimiento de las estrategias técnicas y sociales propuestas.
- Involucrar a la comunidad dentro de las tareas de gestión y mantenimiento de los sistemas.

#### Estrategias de actuación.

##### Estrategias Técnicas

La base técnica de la gestión de agua es la creación de un “tren de tratamiento” que busca tratar el agua desde su extracción/almacenaje

inicial hasta que su retorno al medio ambiente. Desde esta visión, hacen parte de la gestión hídrica los materiales que componen los sistemas de recolección de agua en tejados o terrazas, los sistemas de tratamiento de agua lluvia y agua gris, los sistemas de conducción y sistemas de depuración, los materiales de pavimentos y las técnicas de filtrado y permeabilidad.

Las estrategias técnicas están orientadas hacia la conservación de las fuentes de extracción del recurso, la minimización de efluentes y la correcta gestión de agua lluvia:

#### **a) Gestión de la demanda:**

Se refiere a medidas técnicas y de comportamiento social destinadas a reducir el uso de agua en áreas urbanas. Esta estrategia permite:

- Reducción del volumen de agua importada y vertida al medio ambiente.
- Permite extender la capacidad de servicio de la red de suministro y drenaje existente.
- Reduce la presión sobre las fuentes de agua como ríos, arroyos y depósitos subterráneos.

#### **b) Recolección de Agua lluvia:**

Existen dos métodos de recolección: a) recolección desde tejados y terrazas b) recolección de agua en terreno, calles, parqueos y áreas peatonales. Dependiendo del uso del agua puede contener diversos contaminantes gruesos, nutrientes, sedimentos, metales pesados, hidrocarburos y contaminación fecal (Gobel et al., 2007). Se hace

necesaria la implementación de sistemas de tratamiento para su utilización “fit to purpose”

#### **c) Tratamiento de agua residual para reúso:**

El tratamiento de aguas residuales debe hacerse ajustado al uso “fit to purpose” mediante de depuración individuales o colectivos según el volumen, el origen y la calidad del agua. Algunos usos del agua tratada incluyen: industrial, agricultura, usos domésticos no potables, irrigación de espacio público.

#### **d) Tratamiento de la contaminación difusa y puntual:**

Se busca el tratamiento de la contaminación lo más cercano a las fuentes de emisión mediante sistemas verdes o filtros naturales. Algunos elementos empleados son: Depósitos de captura de contaminantes gruesos, Depósitos de sedimentación, filtros de arena, humedales construidos.

#### **e) Canalización, laminación y retención:**

Estas técnicas buscan controlar el volumen y la velocidad de la escorrentía urbana mediante la implementación de canales naturales, sistemas de laminación y oxigenación y áreas de retención del líquido. El objetivo principal es limitar la eliminación del potencial erosivo del agua, retener contaminantes arrastrados y permitir acondicionar el flujo para tratamientos de contaminación específicos, como filtros y humedales construidos. Canales verdes, franjas de vegetación, áreas inundables hacen parte de este tipo de estrategias.



Figura 7: Sistema de bioretención de agua lluvia. Fuente: <http://www.equatica.com.au/newsarchive.html>, junio 19 de 2012.

#### **f) Control de la infiltración:**

Está dirigida a contrarrestar los efectos de la alta impermeabilización de las áreas urbanizada. Se busca recomponer el balance hídrico natural del territorio, la recarga de acuíferos subterráneos y la recuperación de los niveles freáticos. Algunas medidas empleadas son la construcción de pavimentos porosos, la construcción o mantenimiento de áreas verdes de infiltración, etc.

#### **Estrategias sociales y Legales**

La mayoría de los procesos técnicos pueden apoyarse en procesos de participación y corresponsabilidad en la gestión. Actividades al respecto incluyen programas de sensibilización y concienciación, talleres de

formación, difusión de buenas prácticas, concursos de diseño para la gestión de agua, etc.

A nivel legal y normativo es importante incluir los principios técnicos de gestión dentro de los procesos de planeamiento urbano y regional. Desde la visión de la gestión integral de agua urbana, El uso regional del suelo y el planeamiento de la infraestructura permite generar directrices a la comunidad e inversionistas hacia una gestión territorial sostenible. El planeamiento urbano debe buscar equilibrar los usos de suelo, la densidad de ocupación con la conservación del recurso y los servicios medioambientales asociados al mismo.

A nivel de código técnico, una estrategia importante es estudiar y determinar qué tipo de materiales son adecuados para evitar la contaminación de aguas lluvias, asegurar una adecuada infiltración, y determinar los mejores sistemas de estructuras verdes de gestión.

#### **8. Resiliencia en la gestión de agua**

Debido a los efectos generados por el cambio climático y el aumento demográfico, asegurar la resiliencia en los sistemas técnicos y sociales ante perturbaciones tales como un cambio en la disponibilidad del recurso o un aumento en la demanda se ha convertido como un tema central en la sostenibilidad de la gestión de los recursos hídricos.

Actualmente se entiende la sostenibilidad como una disciplina que estudia las interacciones entre los sistemas sociales y ecológicos, (Gallopín, 2004) con el fin de mejorar su resiliencia.

La resiliencia puede ser entendida como (Folke, 2006):

- La cantidad de perturbaciones que un sistema puede soportar conservando su integridad.
- La capacidad de auto-organización del sistema ante perturbaciones.
- La capacidad de adaptabilidad y autoaprendizaje del sistema.

El desarrollo de la resiliencia en el sistema socio técnico de gestión de agua involucra estrategias combinadas que incluyen:

- La educación ambiental y la co-responsabilidad en la gestión del recurso hídrico (Brown, 2008)
- Disminución de la infraestructura centralizada de gestión basada en obra gris (Muller, 2007) y desarrollo de sistemas mixtos centralizados –descentralizados, potencializando el uso de sistemas verdes para la gestión del recurso hídrico.
- Fomentar el acceso a una mayor diversidad de fuentes de agua, como depósitos de agua lluvia, afloramientos, pozos y suministro centralizado (Wong, 2008)
- Potencialización de los servicios ecostémicos urbanos.

Dado que el desarrollo de resiliencia en la gestión hídrica es un tema complejo y de reciente creación en la cultura técnica occidental, autores proponen estudios en escalas temporales de corto a largo plazo, ajustadas a las condiciones propias del contexto social, cultural y natural del sistema urbano (Brown, 2008)



Figura 8: Sistema de bioretención de agua lluvia. Fuente: <http://www.equatica.com.au/newsarchive.html>, junio 19 de 2012.



Figura 9: Humedal artificial. Fuente: <http://www.aguamarket.com>, 19 de junio de 2012.

## **CAPITULO II**

### **ESTADO DEL ARTE**

#### **1. Introducción.**

Este capítulo presenta los antecedentes del problema urbano en Medellín su relación con la degradación de las cuencas urbanas y presenta las características ambientales y urbanas del área de estudio que compete al problema de investigación de la presente tesina: La recuperación ambiental de la microcuenca de la Herrera.

#### **2. Problema Urbano en Colombia**

Colombia ha experimentado un proceso de urbanización y transición demográfica en forma altamente acelerada desde la década los 50's. Si bien, esta situación es una tendencia general a nivel global, condiciones propias del contexto colombiano, como la violencia interna, el desplazamiento forzado, y la alta desigualdad económica existente entre el campo y ciudad, han hecho que esto fenómeno se haya presentado en forma dramática.

La población urbana de Colombia según datos del DANE paso de 11'946.422 personas en 1950 a 42'888.594 en 2005 (DANE, 2009).

La dinámica del crecimiento urbano impidió la existencia de una adecuada planificación urbana que permitiera entender la naturaleza del territorio y las potencialidades medioambientales de los espacios urbanos.

Actualmente el 75% de la población en Colombia habita en áreas urbanas y de ellos el 30% en asentamientos precarios (ONU-Hábitatt, 2006). Estas

situaciones han derivado en la presencia de extensos cordones de miseria que rodean los centros urbanos, y una creciente degradación del tejido social y las condiciones medioambientales de las ciudades.

Uno de los sistemas naturales más afectados por este fenómeno es la red hídrica. Actualmente se considera que todas las cuencas hidrográficas vinculadas a centros urbanos en Colombia tienen un alto grado de deterioro y contaminación, convirtiéndose su recuperación en uno los desafíos más importantes para la administración pública. Adicionalmente, y pese a la gran cantidad de agua dulce que posee Colombia, las cuencas del Río Magdalena y Río Cauca, donde se concentra la mayor cantidad de población urbana del país, presentan además un alto grado de estrés hídrico (IDEAM, 2010)

#### **3. Desarrollo Urbano en Medellín y problemática Hídrica**

En los últimos 60 años, La cuenca del Río Aburra, donde se emplaza la ciudad de Medellín, ha tenido un incremento de población del 653% y un incremento de la ocupación del territorio del 774% (Cárdenas, 2011).

Actualmente; el valle de Aburra se define como una conurbanización compuesta por Medellín y otros municipios anexos, denominados el área metropolitana del Valle de Aburra. Fenómenos posteriores como la violencia rural y el narcotráfico generarían un crecimiento acelerado y una degradación intensa del tejido social.

Este tipo de dinámicas ha derivado a la creación de un número significativo de asentamientos en zonas de alto riesgo o en zonas de amortiguamiento de áreas de reserva ambiental y los bordes de quebradas



afluentes del Río Medellín (Área Metropolitana del Valle de Aburra, 2007).

#### **4. Proceso de transformación de Medellín**

A partir de los años noventa, las administraciones públicas, la academia y las organizaciones no gubernamentales, se han puesto en la tarea de estudiar mecanismos de remediación y han empezado a implementar programas que buscan transformar la calidad de vida de los habitantes de los barrios marginales, y compensar la deuda social que fue la constante durante décadas.

##### **4.1. Proceso de transformación urbana Zona Nororiental**

Bajo este escenario la administración pública de la ciudad en el periodo de gobierno 2004-2007, decide apostar por una política enfocada a reducir las profundas deudas sociales acumuladas durante décadas a través de la formulación del nuevo Plan de Desarrollo. Así surgen los proyectos estratégicos de la ciudad cuya estrategia radica en realizar intervenciones de impacto, a partir del desarrollo de grandes infraestructuras e inversiones que permitan la unidad de esfuerzos y acciones integrales en los sectores. Entre estos proyectos estratégicos se encuentran el Plan de Mejoramiento Integral de Barrios, que cuenta con la metodología PUI como herramienta de actuación y el plan de manejo y recuperación de cuencas y zonas verdes, entre otros.

##### **4.2. El PUI Nororiental**

La Nororiental es la zona que cuenta con los más bajos índices de calidad de vida de la ciudad de Medellín, producto de la marginalidad y de la

historia de violencia. Con la llegada de las políticas nacionales y locales de búsqueda de la paz, la Nororiental comenzó una etapa de transformación en la que los acuerdos de pacificación con grupos armados ilegales se pusieron en marcha.

La construcción del sistema de transporte masivo Metrocable, promovió e hizo visible este comienzo, con un mejoramiento de la movilidad, las obras alrededor de las estaciones empezaron a transformar el espacio público y la



Figura 10: Comuna Nororiental de Medellín, año 2005. Fuente: Archivo Empresa de Desarrollo Urbano-EDU

comunidad empezó a apropiarse de forma participativa del proyecto. Este nuevo escenario hizo pensar a la administración municipal que era el momento ideal para realizar un PUI en esta zona.



Figura 11: Sistema de transporte Metrocable comuna Nororiental 2005. Fuente: Archivo PUI Nororiental

Un PUI, es un tipo de intervención urbana que pretende, elevar los niveles de la calidad de vida de los habitantes de una zona específica. Para ello, concentra todos sus recursos en un solo territorio, con el ánimo de focalizar los esfuerzos y lograr un resultado que se refleje en el desarrollo y transformación integral de las comunidades, en lo social y en lo físico. Está diseñado especialmente para abordar las zonas de la ciudad más deprimidas y marginadas donde el Estado suele tener una alta deuda social

y para ser utilizado como modelo de intervención replicable (Alcaldía de Medellín, 2006)

#### 4.2.1. Objetivos PUI

Los objetivos del PUI son (Alcaldía de Medellín, 2006)

- Fortalecer las organizaciones comunitarias, a través de la capacitación de líderes, la realización de actividades informativas para la comunidad, el monitoreo y evaluación del proyecto.
- Promover adecuadas intervenciones del Estado, a partir de la conformación de un comité directivo municipal, la formación de mesas de trabajo con entidades públicas para lograr acuerdos con este sector, así como con el privado y académico y la gestión para la participación de las entidades nacionales y los agentes de cooperación internacional.
- Adecuar el espacio público, mediante el mejoramiento de calles y la construcción de parques y plazoletas.
- Fomentar la continuidad en la movilidad peatonal, a partir del plan de puentes peatonales y vehiculares.
- Adecuar nuevos equipamientos colectivos, con la construcción de bibliotecas públicas, terminales de buses, estaciones de policía, salas de navegación, parque biblioteca y centros de desarrollo empresarial; espacios públicos para el encuentro ciudadano con especial énfasis en el



mejoramiento de algunos centros educativos, restaurantes escolares, centros de salud, y escenarios deportivos.

- Mitigar el deterioro ambiental, por medio de la reforestación, la adecuación de áreas para la educación ambiental, la renovación de fauna y flora; la construcción de sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales, obras de control a la erosión, el manejo de residuos sólidos, la recuperación de corrientes de agua; y la reubicación de viviendas ubicadas en zonas de alto riesgo hidrológico, así como campañas de prevención, vigilancia y control sobre las cuencas de las quebradas.

- Promover programas habitacionales, mediante la regularización, legalización, mejoramiento y construcción de edificios mixtos, vivienda de borde, vivienda en interior de manzana abierta y el plan terrazas.

El PUI Nororiental diseño y ejecuto alrededor de 30 proyectos y obras físicas, interviniendo directamente el área de influencia de las estaciones de Metrocable que comprende, desde la estación Acevedo a orillas del río Medellín, hasta el cerro Santo Domingo, los barrios Andalucía, Villa del Socorro, La Francia, Villa Niza, Granizal, Nuevo Horizonte, Popular 1, Popular 2, y Santo Domingo Savio 1; e indirectamente los barrios El Playón, La Frontera, La Isla, Santa Cruz, Moscú 1, La Rosa, Moscú 2,

Villa Guadalupe, San Pablo, La Esperanza 2, El Compromiso, La Avanzada y Santo Domingo Savio 2. Territorio equivalente a 158 hectáreas con más de 170 mil habitantes. Entre los proyectos diseñados y ejecutados por el PUI se encuentra el parque lineal de la quebrada La Herrera.



Figura 12: Puente peatonal Andalucía-La Francia, PUI Nororiental. Año 2008. Fuente: Archivo EDU



Figura 13: Parque de la imaginación, PUI Nororiental. Año 2008. Fuente: Archivo EDU



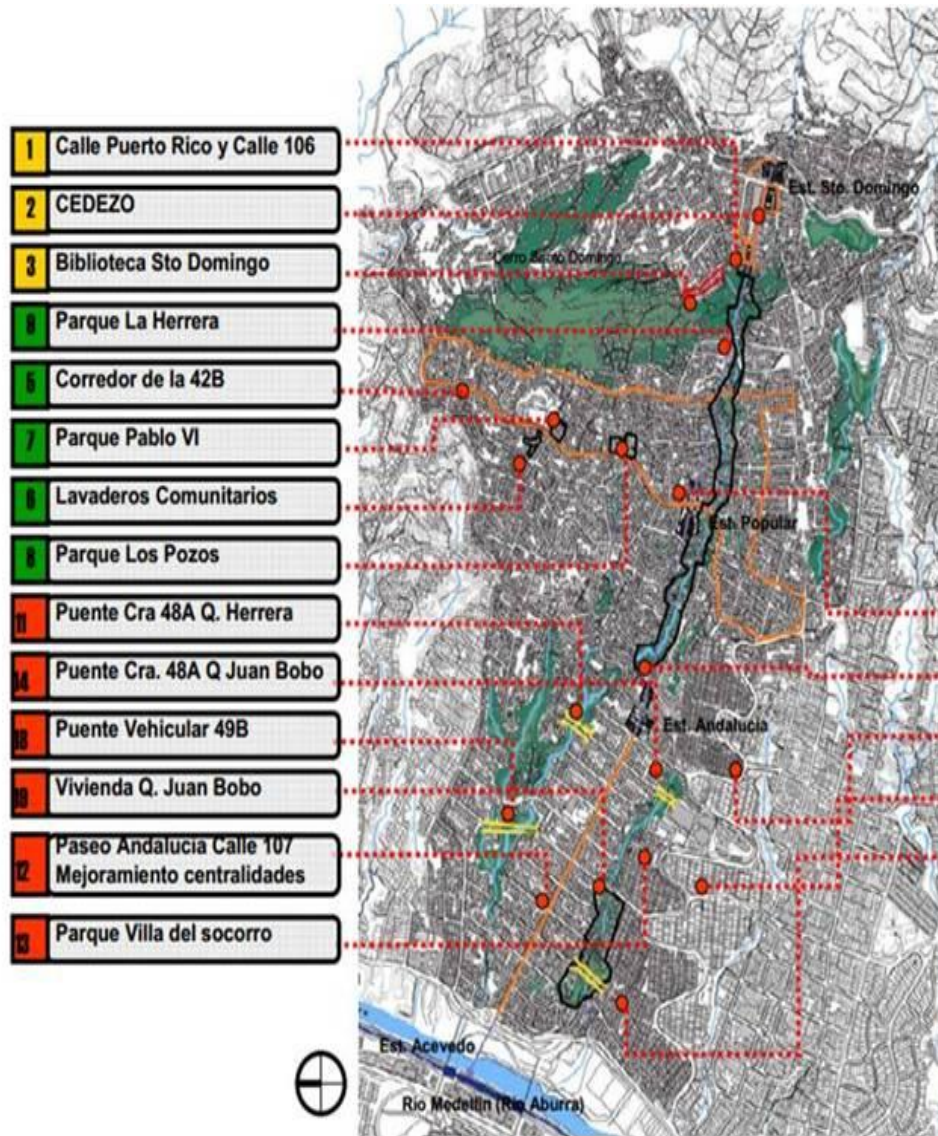


Figura 15: Mapa de localización de obras PUI Nororiental. Año 2005 Fuente: Archivo EDU



Figura 16: Parque de la paz, PUI Nororiental. Año 2005 Fuente: Archivo EDU

- |   |                     |
|---|---------------------|
| 1 | Parque Metrocable 2 |
| 2 | Parque Metrocable 1 |
| 3 | Tirabuzon           |
| 4 | Carrera 49          |
| 5 | Parque Villa Niza   |



Figura 14: Parque del ajedrez, PUI Nororiental. Año 2005 Fuente: Archivo EDU





Figura 18: Microcuenca La Herrera antes de construcción del parque lineal La Herrera. Año 2005 Fuente: Archivo EDU



Figura 17: Proyecto parque lineal La Herrera. Año 2010. Fuente: Archivo EDU

## 5. Microcuenca La Herrera

### 5.1. Introducción

La microcuenca de la Herrera está localizada en la ladera nororiental de la ciudad de Medellín, Colombia. Esta es un importante afluente del río Medellín y en un pasado reciente fue objeto de varios planes de recuperación a nivel urbano, entre ellos el PIOM (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005), y el PUI (Alcaldía de Medellín, 2006), dada sus condiciones predominantes de informalidad y precariedad en la conformación de sus barrios y en su gestión ambiental.

### 5.2. Características generales de la micro cuenca urbana de la Herrera.

**Ubicación:** Área nororiental de Medellín.

**Superficie:** 0,7 Km<sup>2</sup>

**Densidad h/km<sup>2</sup>:** 40.000 habitantes

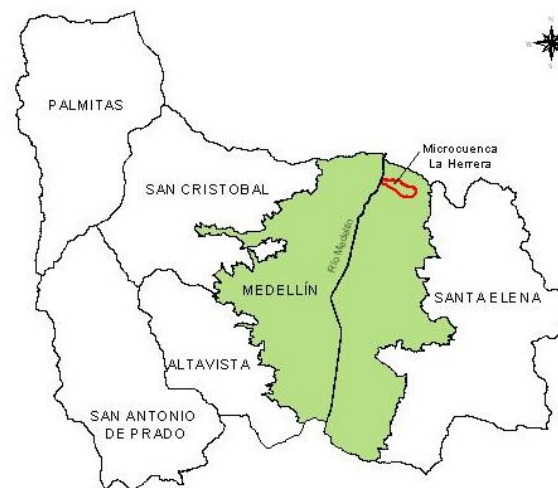


Figura 20: Sistema hidrológico quebrada La Herrera. Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005)

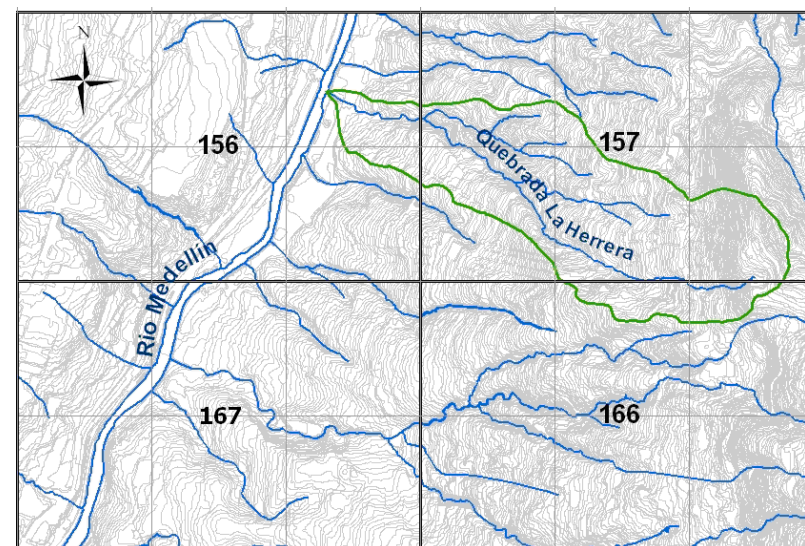


Figura 19: Delimitación y localización microcuenca La Herrera. Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005)



### 5.3. Proceso de urbanización de la zona nororiental de Medellín y la micro cuenca de la Herrera

Entre los años 40 y 50 se inicia la formación de los primeros asentamientos en la periferia de la ciudad, que hoy comprenden las comunas 1 y 2 (Zona Nororiental). En ese entonces, la ciudad terminaba en los barrios Berlín, San Isidro y Aranjuez; producto de una parcelación planeada de desarrollo formal que delimitaba la ciudad en su costado nororiental.

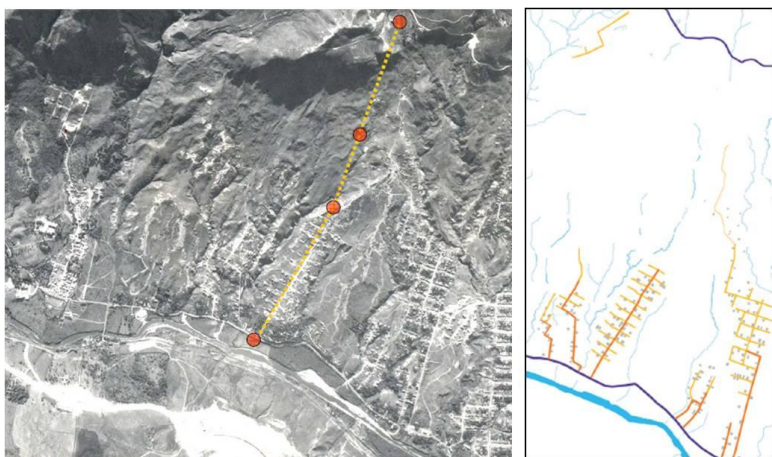


Figura 21: Zona Nororiental años 50's. Fuente: (Alcaldía de Medellín, 2006)

La nueva ola migratoria ocasionada por el desplazamiento rural causado por la violencia de origen político de los cincuenta, sigue incrementando la demanda de vivienda en el territorio. Para este entonces la tasa de crecimiento de la ciudad sube al 6% (Coupé, 1996). Es así como hacia los años sesenta la ciudad informal, conformada a través de procesos ilegales

de subdivisión y venta de la tierra y auto-construcción progresiva de vivienda, alcanza a albergar el 50% de la población (PRIMED, 1996).

En la década de los sesenta la zona Nororiental se transformó sustancialmente, se presentó el nacimiento de nuevos asentamientos que vinieron a ocupar el espacio libre. Entre los barrios Andalucía y Santa Cruz, fueron fundados los barrios Villa Niza y Villa del Socorro, con un trazado diferente a los anteriores porque correspondieron a una intervención pública con urbanización formal para mitigar el déficit de vivienda de interés social.

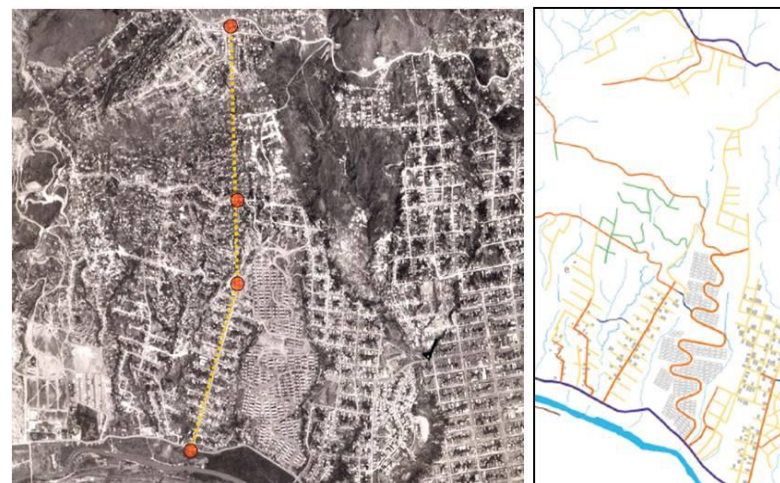


Figura 22: Zona Nororiental años 60's. Fuente: (Alcaldía de Medellín, 2006)

A partir de este momento se empieza a consolidar una fuerte segregación de orden físico, social y económico en la ciudad, con una marcada división del territorio por estratos socioeconómicos, donde hacia el norte y en las partes altas de las laderas oriental y occidental se va localizando la ciudad informal.

La densidad aumentaba con los años y para comienzos de los 70's en esta zona quedaban muy pocos espacios vacíos para ocupar, sólo estaban libres las cuencas de las quebradas que suponían un riesgo para la construcción. La nororiental era ya un sector bien definido, se notaba la diferencia sustancial entre los barrios de la parte baja, ahora comuna 2, que fueron mejor intervenidos; y la parte alta, ahora comuna 1, que estaba conformada por las invasiones.



Figura 23: Zona Nororiental años 70's. (Alcaldía de Medellín, 2006)

Hacia los años 80, con una nueva ola de violencia, desplazamiento rural y la aparición del narcotráfico, el fenómeno comienza a asumir una dimensión política y social dramática y nunca antes experimentada. Para entonces el sector llega a un estado de consolidación muy alto en todas sus zonas, siguen aumentando las edificaciones, así como el nivel de definición de los trazados. Las áreas verdes de los interiores de manzanas iban desapareciendo y se redujo notablemente el espacio libre en las cañadas, debido a las continuas invasiones.

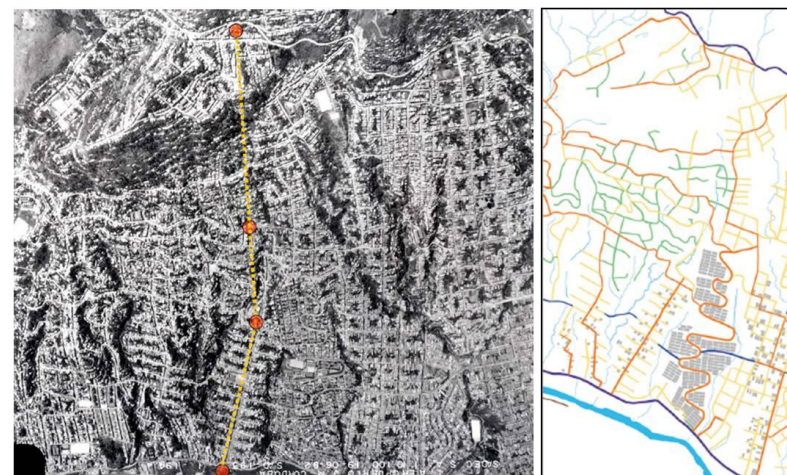


Figura 24: Zona Nororiental años 80's. Fuente: (Alcaldía de Medellín, 2006)

Este fenómeno hizo que los barrios, de procedencia y características distintas, empezaran a verse como una única aglomeración urbana, sin límites definidos, excepto por las quebradas y algunas zonas de altas pendientes.



Durante las últimas décadas del siglo XX estas áreas de la ciudad se fueron consolidando urbanísticamente, generando barrios con diferentes niveles de marginalidad.. Actualmente el POT establece que el 25% del territorio de la ciudad está conformado por este tipo de barrios. Estas áreas corresponden a las áreas con el menor índice de calidad de vida y de desarrollo humano (*Alcaldía de Medellín, 2004*) y coinciden con los sectores con el más alto índice de violencia.

La configuración del modelo de ocupación de la ciudad de Medellín ha generado deterioro de los ecosistemas, incremento de vulnerabilidades y de situaciones de riesgo por el manejo inadecuado que se hace del suelo, destrucción de áreas de protección y de reservas naturales, amenaza de la biodiversidad, de las fuentes de agua y de los demás servicios ambientales, con consecuencias económicas, sociales y ambientales para la sociedad en conjunto.

Como se expone en el trabajo Huella hídrica de Medellín (Cárdenas, 2011) estos procesos socioculturales complejos; han configurado grandes áreas de asentamientos irregulares y de forma muy contundente han generado la alteración del sistema natural del río Aburrá y de sus afluentes.

#### 5.4. Situación actual de la micro cuenca la Herrera

Los estudios de caracterización de la micro cuenta se realizaron mediante la sectorización en tres áreas definidas por sus condiciones geomorfológicas, especialmente por las variables pendiente y forma, las cuales condicionan las características urbanas, sociales y ambientales del sector (*Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005*),

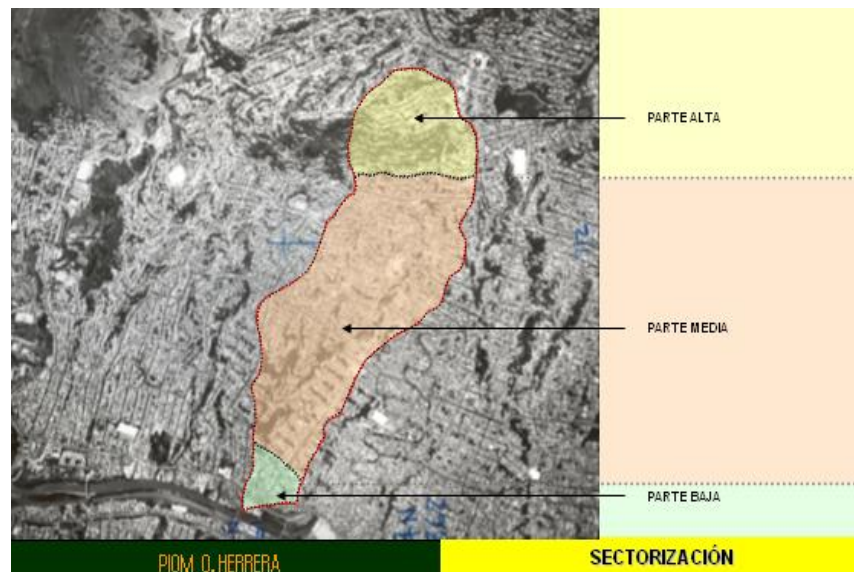


Figura 25: Sectorización de la microcuenca de la Herrera. Fuente: (Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005)

La pendiente y forma condiciona la morfología de manzana, las características de circulación de las vías públicas, accesibilidad del transporte público, riesgo y vulnerabilidad. A nivel social, estas variables definen barreras para la posibilidad de integración barrial, generando grupos sociales aislados que trabajan sin visión de conjunto.

El proceso de conformación de los barrios que componen la microcuenca se caracteriza por haber sido ocupaciones informales de áreas altamente vulnerables por parte de grupos sociales desplazados por la violencia o la pobreza extrema.

Esta base ha configurado un tejido social muy vinculado a pequeña escala, pero inconexo a escala inter barrial y a nivel metropolitano. Las organizaciones comunitarias son el mayor generador de desarrollo.

## 5.5. Características de la gestión hídrica en la Microcuenca

### 5.5.1. Vertimientos

Las comunidades localizadas sobre áreas de alta pendiente y áreas de retiro sobre la quebrada, vierten directamente sus aguas negras sobre el curso de agua.

Según los cálculos de balance hídrico realizados por el PIOM de La Herrera (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005), se concluye que un alto porcentaje del caudal está constituido por aguas residuales vertidas directamente al canal por alcantarillas que recogen las aguas negras de los barrios que constituyen la microcuenca y por las viviendas asentadas en las riberas del cauce. El informe especifica además que se vierte el 80% del agua consumida en la cuenca, y que menos el 10% de estos vertimientos tiene algún tipo de tratamiento previo.

Adicionalmente, el agua es canalizada directamente desde los afloramientos y combinada con las descargas de aguas domésticas para posteriormente ser vertidas en los puntos de inicio de los canales abiertos. Adicionalmente el cauce natural ha sufrido diversas modificaciones por obras civiles como puentes, coberturas y canales de concreto. Actualmente solo el 40% del cauce corresponde al canal natural de la quebrada.

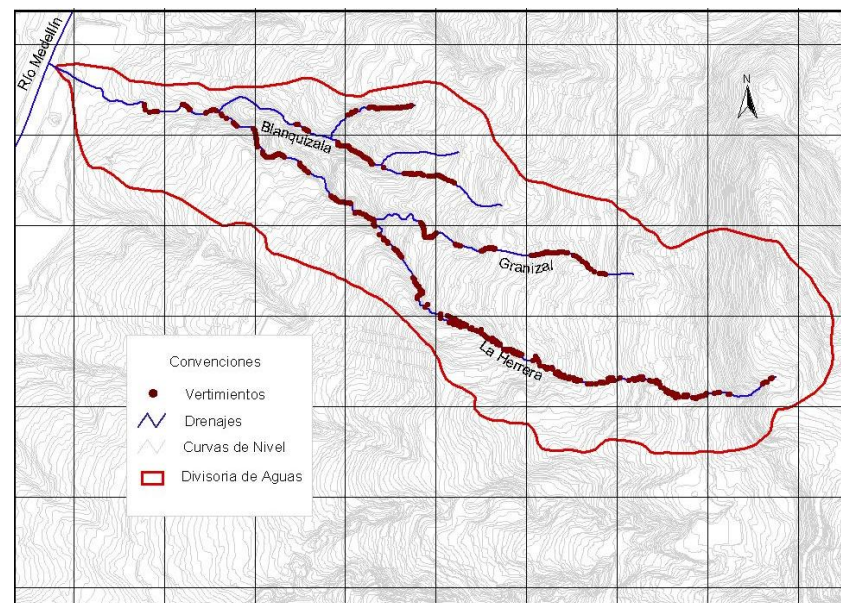


Figura 26: Plano de vertimientos de aguas residuales domésticas sobre quebrada La Herrera. (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005)





Figura 27: Contaminación actual afluentes Rio Aburra. Fuente: (Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005)

### 5.5.2. Consumos

El consumo es la cantidad de agua efectivamente usada por los usuarios y puede conocerse por medio de medidores de consumo. Los módulos de consumo son entonces lecturas promedio registradas en los medidores de consumo durante determinado periodo de tiempo (Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005)

Por ser totalmente urbana, la cuenca está dentro del perímetro de prestación de servicios públicos domiciliarios de Empresas Públicas de Medellín EPPM. El servicio de acueducto es generalizado en toda la cuenca; sin embargo, hay personas que no hacen uso del servicio sino que

aprovechan los afloramientos de aguas naturales para el abastecimiento de sus necesidades domésticas particulares. Cuando hay interrupción del servicio de acueducto municipal, los afloramientos satisfacen necesidades comunitarias de los habitantes de la zona circundante.

Según datos de EEPPM, el consumo promedio de agua de un habitante de Medellín es de 166 l/día.

Es importante aclarar que el consumo de agua depende en gran medida de la forma en que se realice el aprovechamiento por lo tanto el consumo de agua proveniente del sistema urbano de acueducto puede ser menor que el consumo por captaciones en los afloramientos del agua ya que el uso de mangueras o incluso de baldes y recipientes es de tres a 4 veces mayor que el primero. Sin embargo para definir un dato común de consumos se utilizara a lo largo de esta tesina el dato oficial estipulado por EEPPM.

### 5.5.3. Usuarios y captaciones

Con pocas excepciones las captaciones se realizan en el sitio mismo del afloramiento dado que allí el agua luce cristalina y está libre de olores. Las captaciones son tipo pozo, tanque o poceta y en muchos casos constituyen la misma obra de almacenamiento de agua.

En la cuenca hay 46 usuarios 36 de las cuales se abastecen a partir de tanques comunitarios de agua; las demás lo hacen a partir de captaciones individuales.

El agua se destina a uso doméstico únicamente. Los usuarios no realizan tratamiento al agua previo a su uso o consumo. Algunos de ellos, también suscriptores del servicio de acueducto de EEPPM, usan el agua de la

cuenca para todos los usos típicos que constituyen el consumo doméstico excepto para consumo directo y cocina, los cuales representan aproximadamente el 10% de la demanda doméstica total (Pérez, 1998).

#### 5.5.4. Afloramientos

Se denominan afloramientos al brote natural de agua en algún punto de la cuenca.

En la cuenca existen aproximadamente 12 afloramientos de agua, los cuales han sido intervenidos y modificados por la comunidad a lo largo de los últimos 40 años para el abastecimiento en usos de carácter comunitario. Actualmente este recurso no tiene un uso estratégico en la cuenca, se ha particularizado su uso y los excedentes de agua se conducen directamente a las redes de alcantarillado.

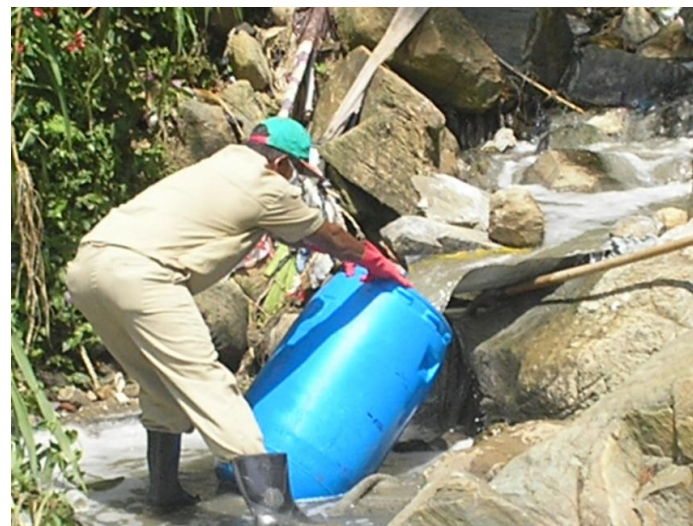


Figura 28: Aforo y toma de muestras, quebrada La Herrera. Fuente (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005)

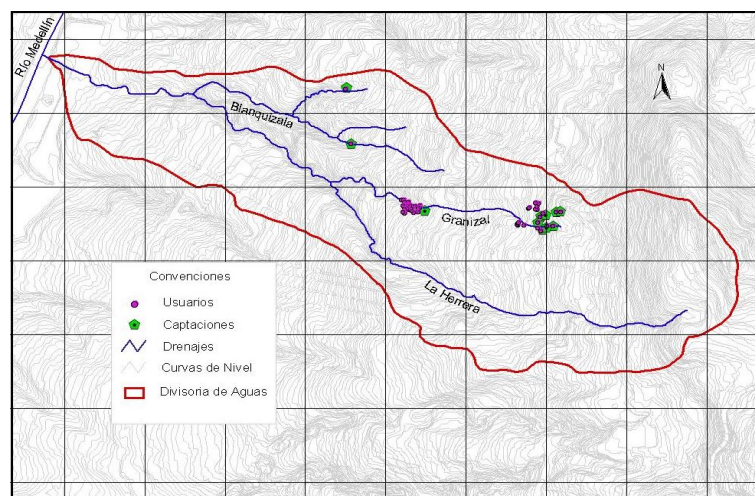


Figura 29: Distribución espacial de las captaciones identificadas en la microcuenca. Fuente: PIOM La Herrera.

#### 5.5.5. Análisis de la calidad del agua

Según los muestreos y análisis realizados por el PIOM de La Herrera en el año 2005, mediante la metodología de aforos y toma de muestras en 6 puntos representativos de la totalidad de la cuenca, se determina que al comparar los resultados de los análisis de calidad de agua con los valores máximos admisibles establecidos en el decreto 475 de 1998. Los siguientes parámetros no cumplen con lo establecido.

Acidez, alcalinidad, color verdadero, hierro total, manganeso, nitratos, sólidos totales, turbiedad, sólidos totales, oxígeno disuelto, Recuento Total de microorganismos mesoaeróbios, Número más probable de coliformes totales, Número más probable de coliformes fecales.

De los anteriores parámetros las concentraciones altas de nitratos se consideran con efectos adversos para la salud humana; la presencia de alcalinidad total, hierro total y acidez puede causar un efecto indirecto sobre la salud humana; la presencia de mesoaeróbios y coliformes indican que no son aguas aptas para consumo humano.

Es bastante preocupante los niveles de oxígeno disuelto, muy por debajo del valor máximo admitido  $> 4.0$  mg/l, indicando lo anterior, que esta **FUENTE NO ES APTA PARA CONSUMO HUMANO** y tampoco garantiza la supervivencia de organismos acuáticos que puedan ayudar a la depuración de esta agua.

Con base en lo anterior, se concluye que según el grado de polución, la calidad de la fuente en este sitio, es **TIPO 4 FUENTE MUY DEFICIENTE** necesita un tratamiento de pretratamiento, sedimentación, filtración, desinfección, estabilización. Ver figura 32



Figura 30: Análisis de aguas quebrada La Herrera. Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005)



Figura 31: Análisis de aguas quebrada La Herrera. Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005)



Parámetro / Muestra	1	2	3	4	5	6	Nivel de Calidad del agua
Epoca de muestreo							
Verano							
Análisis Físicoquímico							
Caudal promedio, l/s	4.19	14.19	12.68	25.98	14.11	79.00	-
Acidez total, mg CaCO <sub>3</sub> /l	114.0	97.0	99.0	128.0	99.0	95.0	50
Alcalinidad total, mg/l	121.8	156.7	163.7	162.3	176.1	119.7	100
CaCO <sub>3</sub> /l	43.9	45.2	43.4	52.5	59.5	42.6	250
Cloruros, mg Cl-l	400	250	250	800	500	500	≤15
Color Verdadero, unidades de color	750	500	750	1500	1000	1000	
Color aparente, unidades de color	489	504	497	574	606	419	50 - 1000
Conductividad, μ S/cm	322.6	208.8	176.4	467.0	318.0	287.1	
DBO <sub>5</sub> total, mg O <sub>2</sub> /l	615.26	391.46	365.84	861.69	638.87	617.26	
DQO total, mg O <sub>2</sub> /l	54.09	81.54	90.75	114.33	88.98	66.25	160
Dureza total, mg CaCO <sub>3</sub> /l	4.237	2.501	2.868	4.720	4.049	2.414	0.3
Hierro Total, mg/l Fe*	3.136	7.052	12.404	9.188	10.107	5.484	36
Magnesio, mg Mn/l	0.163	0.291	0.198	0.232	0.326	0.186	0.1
Grasas y/o aceites, sustancias solubles en hexano	125.44	50.33	55.38	201.58	75.00	90.56	
Nitratos, mg NO <sub>3</sub> -N/l	<0.5	<0.5	0.55	1.01	1.22	1.58	10
Nitritos, mg NO <sub>2</sub> -N/l	0.004	0.031	0.039	0.052	0.048	0.011	0.1
Oxígeno disuelto, mg O <sub>2</sub> /l	2.0	0.0	0.6	0.7	1.8	0.8	
Ortofosfatos, mg P/l	13.84	10.01	9.24	14.52	13.91	7.83	
pH, unidades de pH	7.04	7.19	7.22	7.17	7.29	7.24	6.5 - 9.0
Sólidos suspendidos totales, mg/l	217	148	148	440	296	204	
Sólidos totales, mg/l	578	478	456	840	750	530	≤500
Sólidos disueltos totales mg/l	361	330	308	400	454	326	
Sólidos totales volátiles mg/l	388	306	266	536	418	298	
Sólidos totales fijos mg/l	190	172	190	304	332	232	
Sulfatos, mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l	27.2	39.1	44.9	50.1	46.3	40.8	250
Turbiedad, NTU	276	112	124	446	286	260	≤5
Análisis Microbiológico							
Recuento Total de microorganismos mesoaeróbios, UFC/ 100 ml	3.5*10 <sup>5</sup>	4.0*10 <sup>12</sup>	30.0*10 <sup>10</sup>	30.0*10 <sup>13</sup>	30.0*10 <sup>10</sup>	160.0*10 <sup>12</sup>	≤100 UFC por 100 ml
Número más probable de coliformes totales, NMP/100ml	1.4*10 <sup>5</sup>	1.4*10 <sup>12</sup>	3.0*10 <sup>10</sup>	0.7*10 <sup>12</sup>	14.0*10 <sup>9</sup>	14.0*10 <sup>11</sup>	0 en 100 ml
Número más probable de coliformes fecales, NMP/100ml	1.4*10 <sup>15</sup>	4.8*10 <sup>15</sup>	1.0*10 <sup>14</sup>	1.5*10 <sup>15</sup>	1.4*10 <sup>12</sup>	1.0*10 <sup>14</sup>	0 en 100 ml

Figura 32: Reporte de ensayo de los análisis físicoquímicos, biológicos e instrumentales de las muestras de agua cruda de la microcuenca La Herrera. (Fuente Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005)

### **5.6. Problemáticas detectadas**

La escasa accesibilidad de ciertos terrenos permite escaso control social, lo que facilita la apropiación ilegal por grupos desplazados o marginados. Adicionalmente se presentan áreas de actividades ilegales denominadas territorios de miedo

Los grupos sociales más vulnerables ocupan los espacios de menor calidad ambiental y mayor riesgo de inundación o deslizamiento, en un claro fenómeno de marginalidad ecológica.

La presencia de barrios ilegales en cerros y bordes de quebrada, en lugares de difícil topografía y accesibilidad no han permitido una adecuada infraestructura de gestión. Se observa adicionalmente un uso irracional de los valores ambientales de la cuenca, presentándose adicionalmente deforestación, alta contaminación del cauce del río, rellenos, cortes de ladera y deslizamientos.

#### **Asentamientos humanos:**

- Cabecera transformada e invadida por construcciones de carácter precario.
- Alto transformación antrópica
- Presencia de estructuras hidráulicas diversas de carácter informal: tuberías, canalizaciones en el tramo del cauce natural, vertidos altamente contaminados de aguas residuales.

- Asentamientos sin criterios de planificación y prevención del riesgo.
- Viviendas alrededor del cauce, incluso sobre obras públicas de mitigación de riesgo.
- Construcción en altas pendientes por construcción precaria.
- Inexistencia de sistemas colectores de aguas residuales, lo que convierte a la quebrada en una alcantarilla abierta.
- Vivienda informal habitada por sectores segregados: altos niveles de desempleo, poco ingreso económico y precariedad en las condiciones de vivienda.

### **5.7. Visión de la microcuenca a futuro desde la normativa.**

#### **5.7.1. Plan municipal de recuperación de microcuencas.**

La secretaria del medio ambiente de Medellín, teniendo en cuenta los lineamientos establecidos en el Plan de Desarrollo 2004-2007 y los contemplados en el Decreto 1729 de 2002, por medio de los cuales establece el uso y ordenamiento de las cuencas hidrográficas, realizó la formulación de los planes de manejo de las micro cuencas La Bermejala, La Herrera, La Presidenta, La malpaso, La India, La Ana Díaz y La Quintana, que se convierten en instrumentos orientadores del desarrollo territorial y en nuevos espacios públicos, que contribuyen a recuperar el patrimonio ambiental de la ciudad.

El Decreto 1729 de 2002, por medio del cual se reglamentan el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993, establece los lineamientos y fases

para la ordenación de cuencas hidrográficas y define que el proceso de ordenación de una cuenca tiene por objeto principal el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico – biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos; dispone además, que la ordenación así concebida constituye el marco para planificar su uso sostenible y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger y prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica (Alcaldía de Medellín, 2004)

La idea de crear Parques Lineales surge de la necesidad de recuperar y mejorar el espacio público de algunas quebradas de la ciudad. La intención es tener una ciudad más limpia, con amplias zonas verdes y un aire cada vez más respirable, transformando lugares que hoy no son utilizados por la comunidad por su deterioro y contaminación. Las quebradas a recuperar son aguas junto a las cuales han crecido los barrios de la ciudad. La Alcaldía siente la necesidad de proteger estas zonas, por lo cual, se arborizarán estos sectores para potencializarlos y ayudar a que sean espacios de libre esparcimiento y, de esta forma, recuperar su patrimonio ambiental. De esta manera los Parques Lineales se constituyen en los espacios verdes, situados alrededor de las quebradas, con posibilidades de adecuación como espacios públicos naturales, para la conexión, la conservación de la biodiversidad de los ecosistemas, la descontaminación de las microcuencas y para el disfrute de la ciudadanía y la recreación pasiva, al aire libre y en contacto con la naturaleza (Alcaldía de Medellín, 2004).

### **5.7.2. Actuaciones realizadas sobre la microcuenca La Herrera y oportunidades de mejora**

Si bien el Proyecto Urbano Integral Nororiental, represento un gran aporte en la generación de espacio público, la reestructuración barrial, la cohesión social y el mejoramiento en la calidad de vida de los habitantes de la comuna Nororiental, es importante anotar que el aporte que sus proyectos hicieron al componente medioambiental de la zona, representa la mayor oportunidad de mejora en este tipo de metodología de intervención urbana. El PUI Nororiental interviene directamente el componente hídrico y el sistema de espacios verdes de la microcuenca La Herrera con dos de sus proyectos los cuales son: El parque Los Pozos y El parque lineal La Herrera.

Según un informe de la Consultoría para la coordinación del programa de silvicultura urbana y rural de la secretaria del Medio Ambiente del municipio de Medellín, estos dos proyectos fallan en aspectos claves, como son la consolidación de la conectividad ecosistémica en la zona y el mejoramiento del sistema hídrico de la microcuenca, aspectos relevantes dentro del plan integral de ordenamiento de microcuencas (PIOM) y el plan de manejo de espacios públicos verdes del Área Metropolitana del Valle de Aburra, ambos planes de obligatorio cumplimiento.

Por lo anterior se considera importante que en los futuros diseños y en los parques ya construidos se presenten o se desarrollen alternativas que impacten contundentemente no solo en el mejoramiento del espacio público sino en la expansión del espectro de funciones y beneficios asociados con los ecosistemas urbanos. Las funciones y beneficios ambientales de las zonas verdes, el arbolado y los bosques urbanos son reconocidas actualmente como esenciales para contribuir al bienestar y la

convivencia en las ciudades, atribuyéndoles entre otros los siguientes: (informe de la Consultoría para la coordinación del programa de silvicultura urbana y rural de la secretaria del Medio Ambiente del municipio de Medellín, 2009)

- Mejora de la calidad del aire.
- Reducción del agua de escorrentía.
- Disminución de la erosión de la tierra.
- Mejora en la calidad del agua.
- Creación de hábitat para la fauna.
- Incremento en las oportunidades de recreación.
- Mejora en la salud y bienestar
- Reducción de niveles del ruido.
- Creación de zonas de amortiguamiento.

El PUI logro superar en parte algunos problemas existentes en la zona sobre todo en lo relacionado con la consolidación de la estructura barrial de algunos de los sectores localizados a los largo de la zona de influencia del Metrocable. Sin embargo durante algunos recorridos realizados recientemente a la zona, se observó que todavía persisten algunos problemas relacionados con problemáticas incluidas en el diagnóstico elaborado para la formulación de los planes de manejo y recuperación de cuencas y el plan de manejo de espacios públicos verdes entre ellos: (informe de la Consultoría para la coordinación del programa de

silvicultura urbana y rural de la secretaria del Medio Ambiente del municipio de Medellín, 2009).

- Contaminación de fuentes hídricas.
- Manejo inadecuado de residuos sólidos.
- Conflictos en el uso del suelo.
- Presión habitacional sobre los retiros de las quebradas.
- Incumplimiento de la normativa urbanística.
- A los cuales podría agregarse:
  - Baja conectividad de espacios públicos verdes
  - Inadecuada red de senderos de comunicación entre los diferentes sectores
  - Contaminación de suelos
  - Manejo inadecuado de nacimientos de agua
  - Baja interacción transversal entre las comunidades del sector

### CAPITULO III

#### ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL DE LAS MICROCUENCAS URBANAS Y SU RELACIÓN CON LAS DIRECTRICES DE DESARROLLO URBANO DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN. CASO DE ESTUDIO MICROCUENCA DE LA HERRERA.

##### 6. Introducción

Si bien, el problema medioambiental de las cuencas de Medellín es un tema ampliamente estudiado dentro de varios documentos de carácter oficial, existe la necesidad de determinar cómo es entendido el problema medioambiental desde la normativa que rige el planeamiento y el diseño urbano.

El presente capítulo tiene como objetivo analizar las principales directrices oficiales que estudian la problemática ambiental relacionada con la gestión de cuencas urbanas y la generación de espacio público en el municipio de Medellín. Se busca en primera instancia definir las directrices de desarrollo que se proponen en cada una de ellas, y posteriormente analizar cómo se incluye la problemática de la gestión de cuencas urbanas dentro de la normativa que rige la planeación y el diseño urbano, con el fin de detectar correspondencias, vacíos normativos y oportunidades de mejora.

##### 7. Metodología

La metodología utilizada para realizar el análisis transversal de los diferentes documentos relacionados con la gestión de cuencas a nivel urbano, se realizó mediante la identificación de los componentes secuenciales

que definen la realización de un proyecto y la propuesta de herramientas para su ejecución.

El orden secuencial de pasos utilizado es el siguiente:

- Problemática:** Se refiere a un asunto o situación que requiere de una solución, sea a corto, mediano o largo plazo.

- Objetivo:** Identifica la finalidad hacia la cual deben dirigirse los recursos y esfuerzos para dar cumplimiento a una misión, que en el caso de este trabajo es la solución a la problemática.

- Estrategia:** Principios y rutas fundamentales que orientan el proceso para alcanzar los objetivos a los que se desea llegar.

- Programa:** Conjunto de proyectos regidos por una estrategia común que sirven como guía durante funciones organizadas.

- Proyecto:** Conjunto de actividades que se encuentran interrelacionadas y coordinadas con el fin de alcanzar objetivos específicos dentro de los límites que imponen un presupuesto, calidades establecidas previamente y un lapso de tiempo previamente definido.

- Herramientas:** Procedimiento o Instrumento que permite realizar una tarea específica.

Por otro lado se identifican tres dimensiones de análisis, que corresponden a las dimensiones de la conceptualización del desarrollo sostenible, (dimensión técnica, dimensión social y dimensión ambiental), las cuales



permiten estructurar de una forma sistémica los objetivos contenidos en cada una de las normativas, aportando un panorama general.

A continuación se exponen las principales directrices que estudian la problemática ambiental relacionada con la gestión de cuencas urbanas y la generación de espacio público en el municipio de Medellín.

## 8. Principales directrices de ordenamiento urbano en Medellín

### 8.1. Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín (POT)

#### 8.1.1. Descripción del Documento

El POT es un instrumento de planificación del desarrollo local, de carácter técnico, normativo y político que sirve para ordenar los territorios municipales y distritales, reglamentado por la Ley 388 de 1997 de la Republica de Colombia (UNAL, 2005).

El POT es el principal instrumento que rige los procesos de ordenamiento y planificación del territorio del municipio de Medellín. Se define como el conjunto de objetivos ambientales, económicos y sociales del territorio y las comunidades que participan históricamente de su construcción, adoptados para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo (Departamento administrativo de planeación municipal de Medellín, 2006).

El POT adopta una visión de largo plazo y unos instrumentos de gestión que articulados actúan integral y sectorialmente, mediante la

implementación de estrategias, programas y proyectos conforme a un imaginario compartido de ciudad.

**Entidad:** Departamento administrativo de planeación municipal de Medellín.

**Año:** 2006

#### 8.1.2. Problemáticas urbanas y ambientales identificadas por la normativa.

- Carencia de espacio público estructurante y baja calidad ambiental.
- Crecimiento desordenado y desarticulado de la ciudad, expansión informal en zonas de alto riesgo.
- Altos niveles de contaminación del sistema hidrográfico ocasionado por la descarga directa en algunas zonas de la ciudad y por la invasión de los cauces de agua.
- Altos niveles de riesgo de la población ubicada en asentamientos informales en zonas vulnerables.
- Conurbación, desestructuración de los bordes de ciudad provocando cambios en la estructura física y económica de la zona rural.
- Altísimo déficit de vivienda.
- Agotamiento del componente natural por factores antrópicas como la expansión urbana sin planificación, la contaminación e invasión.

- Falta de visión y de un proyecto común a escala metropolitana y regional relacionado con los ecosistemas estratégicos compartidos por los diferentes municipios.

### 8.1.3. Objetivos de la normativa

El objetivo general del POT es armonizar y establecer las reglas a través de las cuales el municipio promueve el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural; así como prevenir desastres en asentamientos de alto riesgo no mitigable y facilitar el desarrollo de acciones urbanísticas eficientes (Departamento administrativo de planeación municipal de Medellín, 2006).

Los objetivos específicos del POT son los siguientes: (Departamento administrativo de planeación municipal de Medellín, 2006).

- Contribuir desde Medellín a consolidar una plataforma metropolitana y regional competitiva
- Convertir el espacio público en el elemento principal del sistema estructurante urbano, factor clave del equilibrio ambiental y principal escenario de la integración social y la construcción de ciudadanía.
- Orientar el crecimiento de la ciudad hacia adentro y racionalizar el uso y ocupación del suelo.
- Encaminar las acciones de manejo del sistema hidrográfico del Municipio a la conservación, la protección y el ordenamiento de las áreas y elementos

naturales que lo conforman mediante la regulación de usos del suelo compatibles y tratamientos especiales tendientes a la preservación y recuperación de cuencas y fuentes de agua.

- Reducir las condiciones de riesgo en las poblaciones de manera que no se constituya en limitación para el desarrollo convirtiéndose en un elemento básico en el proceso de ordenamiento territorial.
- Fundamentar el desarrollo rural en la productividad ambiental protegiendo sus recursos naturales, su paisaje, su producción tradicional sostenible y las características de su hábitat.
- Implementar un nuevo modelo de movilidad soportado en el metro y en un sistema complementario de mediana capacidad.
- Convertir la vivienda y el barrio en factor de desarrollo, integración y cohesión social, con visión y conciencia metropolitana.
- Valorar el medio natural como principal elemento estructurante del ordenamiento territorial y componente esencial del espacio público.
- Contribuir desde el ordenamiento a la construcción de una ciudad equitativa y a la consolidación de una cultura de planeación y gestión urbanística democrática y participativa.

En el Anexo 1, se muestra el cuadro síntesis de la revisión del documento.

## 8.2. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburra (POMCA)

### 8.2.1. Descripción del Documento

El Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburra, POMCA, reglamentado mediante el Decreto 1729 de 2002 del Gobierno Nacional, es el principal instrumento de planificación y gestión de la cuenca Aburra, cuya formulación es responsabilidad de las autoridades ambientales con jurisdicción sobre la misma. Busca establecer el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos. Es también el marco para planificar el uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica.

**Entidad:** Comisión Conjunta de la Cuenca del Río Aburrá conformada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CORANTIOQUIA y CORNARE.

Participación: Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.

**Año:** 2007

### 8.2.2. Problemáticas identificadas por la normativa

•Crecimiento urbano desestructurado.

- Deficiente manejo integral de los residuos.
- Dependencia hídrica y uso irracional del agua.
- Muy alto deterioro de la calidad del agua.
- Alta intensidad de contaminación atmosférica por zona geográfica.
- Intervención institucional poco estructurante.
- Intervención de las corrientes sin una concepción sistémica. •Explotación informal y alta impermeabilización de zonas de recarga.
- Baja calidad de vida.
- Reducción de la capacidad de los ecosistemas locales para mantener la estructura y función esencial de los mismos.
- Dependencia hídrica y uso irracional del agua.
- Muy alto deterioro de la calidad del agua.
- Sobre y subutilización del suelo como recurso al interior de la cuenca.

### 8.2.3. Objetivos de la normativa

- Identificar, controlar y mitigar el riesgo generado por las amenazas naturales y los impactos antropogénicos.
- Prevención, mitigación, control y monitoreo de la contaminación de los recursos naturales en la cuenca del río Aburra.

- Generación de conocimiento sobre la evolución natural de la cuenca e información ambiental pública, pertinente y actualizada de la cuenca del
- Planeación, seguimiento y control eficaz de los procesos y recursos.
- Integración efectiva comprometida, transparente y participativa de los actores.
- Educación integral con énfasis en el manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.
- Ordenamiento de los recursos naturales.
- Mejoramiento en el estado de conservación de la cuenca del río Aburra, financiando un conjunto de actividades destinadas a lograr tal fin.

En el Anexo 2, se muestra el cuadro síntesis de la revisión del documento.

### **8.3. Plan Integral de Ordenamiento de la Microcuenca la Herrera. (PIOM)**

#### **8.3.1.Descripción del Documento**

El POT, adoptado mediante el acuerdo 046 de 2006, define al río Medellín y a sus quebradas afluentes, como sistemas estructurantes del espacio público. Dada la importancia de dicha red hídrica y como estrategia para la operatividad del POT, se establece en el mismo la necesidad de formular, actualizar y sistematizar los planes integrales de ordenamiento y manejo de microcuencas como requisito fundamental para emprender las

acciones e intervenciones de rehabilitación, conservación y prevención, requeridas en dichas microcuencas, los cuales una vez aprobados por las autoridades ambientales competentes, serán de obligatorio cumplimiento.

El plan de ordenamiento y manejo de una microcuenca la Herrera según lo establecido en el Decreto 1729 de 2002, busca definir las acciones concretas para la protección y la gestión de los recursos naturales, partiendo de la realidad propia de la microcuenca y construyendo acciones de futuro acordes con las intenciones concertadas de los actores en cinco fases: diagnóstico; prospectiva; formulación; ejecución; seguimiento y evaluación. La metodología implementada para el desarrollo del PIOM de la microcuenca La Herrera, fue la elaborada por la Universidad Nacional en el libro “Metodología para la formulación de planes de ordenación y manejo de microcuencas altamente urbanizadas en el valle de aburra” el cual es la guía para la elaboración de este tipo de estudios a nivel Metropolitano.

**Entidad:** Secretaria de Medio Ambiente de Medellín., Área Metropolitana del Valle de Aburra.

Participación: Politécnico Jaime Isaza Cadavid.

**Año:** 2005

#### **8.3.2.Problemáticas ambientales y sociales identificadas por la normativa**

- Urbanización e invasión de los canales y zonas aledañas.
- Aprovechamiento de la red hídrica como lugar de descarga de aguas residuales y el depósito de basuras.

- Red de alcantarillado convencional no apta para lugares con altas pendientes.
- Generación de olores desagradables.
- Apariencia desagradable de la cuenca.
- Desfiguración del paisaje.
- Amenaza sísmica media y alta.
- Improvisación en la ubicación de centros de acopio de residuos sólidos a cielo abierto.
- Riesgo de pérdidas humanas por estar ubicados en zonas de alto riesgo o llanuras de inundación.
- Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.
- Desaparición de la vida acuática.
- Pérdida de la cobertura vegetal y erosión del suelo.
- Déficit del componente arbóreo asociado a los espacios públicos presentes en este sector y no se registra una planificación o manejo de la actual cobertura vegetal asociada a la microcuenca y a los espacios públicos.
- Escasa vegetación protectora en algunos afloramientos de agua.

### **8.3.3. Objetivos de la normativa**

- Implementar la microcuenca hidrográfica como gestión básica de planeación urbana, buscando resaltar la importancia del agua como eje articulador.
- Trascender la gestión del recurso hídrico de una gestión sectorial a un enfoque integrado, holístico y global.
- Proporcionar un conjunto de guías y criterios técnicos de aplicación en la formulación de proyectos urbanos que faciliten la gestión de los recursos naturales en especial el recurso hídrico, al interior de la microcuenca La Herrera.
- Concebir la microcuenca como una unidad territorial susceptible de ser renovada a partir de una reconceptualización y reorientación de sus usos actuales, propiciando la elaboración de imágenes de futuro.

En el Anexo 3, se muestra el cuadro síntesis de la revisión del documento.

## **8.4. Manual del Espacio Público (MEP)**

### **8.4.1. Descripción del Documento**

El Manual de Espacio Público es un documento de herramientas de diseño y construcción para la intervención del espacio público en la ciudad de Medellín. Estas herramientas se basan principalmente en parámetros de amoblamiento urbano, estandarización de dimensiones, piezas y elementos para la construcción de los diferentes componentes del espacio público.

Cabe anotar, que aunque el MEP no es un documento normativo sino una directriz de diseño urbano, se decide incluirla dentro de este análisis ya que proporciona lineamientos y especificaciones que intervienen directamente con la gestión del agua urbana en la ciudad, el cual es el tema de estudio.

**Entidad:**

Secretaria de obras publicas de Medellín.

Secretaria de transportes y tránsito de Medellín.

Departamento administrativo de planeación municipal de Medellín.

Universidad Pontificia Bolivariana-UPB

Instituto Colombiano de productores de cemento-ICPC

**Año:** 2003

**8.4.2. Problemáticas identificadas por la directriz**

- Deficiencias en los procesos de diseño y construcción del espacio público en la ciudad.
- Falta de una continuidad sistémica en las intervenciones de espacio público de la ciudad. El espacio público se ejecuta por medio de pequeñas intervenciones singulares.

**Objetivos de la directriz**

- Definir los parámetros de diseño y de construcción de los componentes básicos del espacio público, desde todas sus dimensiones, particularmente, desde los aspectos técnicos y funcionales, con soluciones para los casos típicos de diseño.

- Proporcionar herramientas para controlar la creación, intervención, adecuación, transformación y construcción del espacio público y para resolver los problemas operativos básicos.

En el Anexo 4, se muestra el cuadro síntesis de la revisión del documento.

### 8.4.3. Gestión actual del agua urbana en Medellín

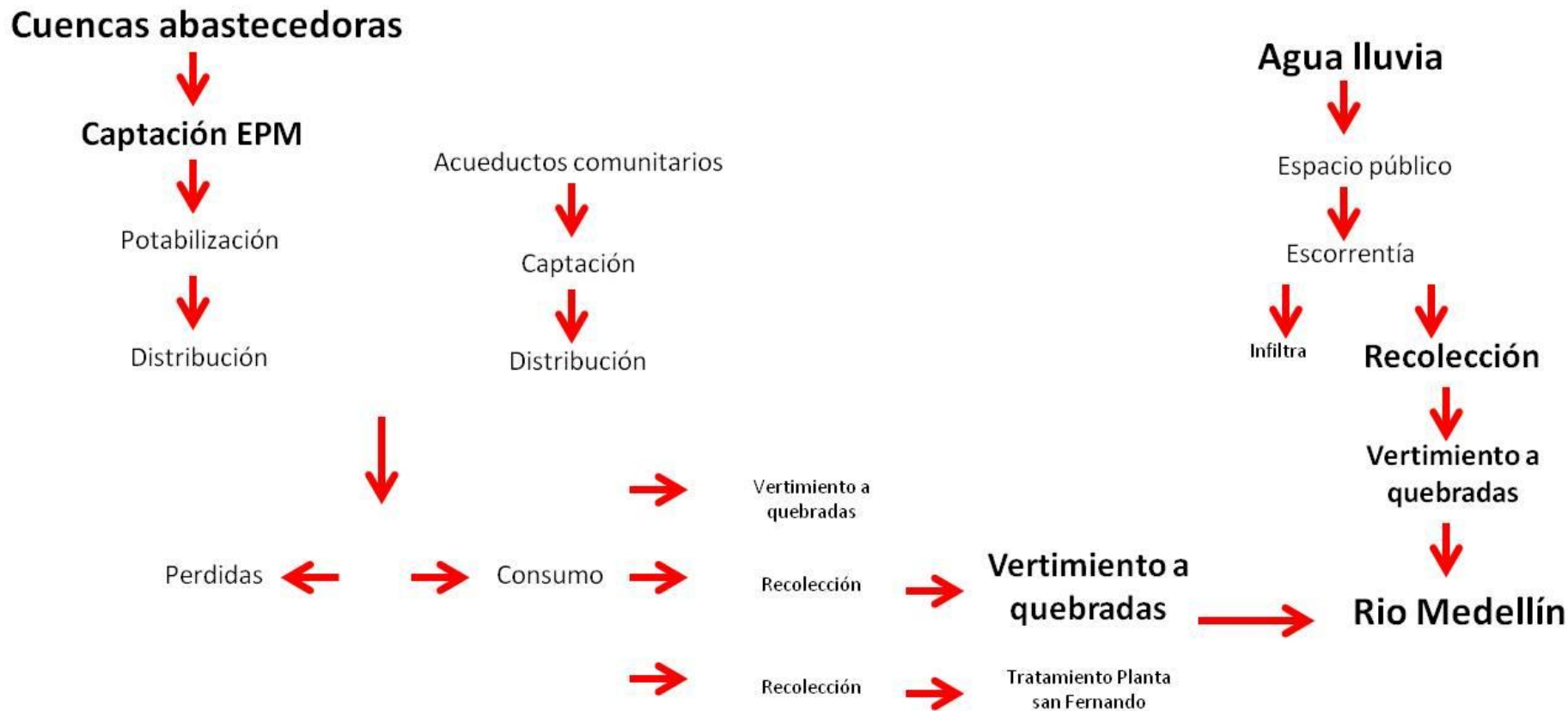


Figura 33: Esquema de la actual gestión de agua urbana en la ciudad de Medellín. Fuente: Elaboración propia.

## 9. Análisis de las normativas

En este apartado se busca hacer un análisis de los documentos anteriormente expuestos desde la visión de la arquitectura y el urbanismo, con el fin de establecer que herramientas de trabajo aportan estos documentos a estas profesiones y como repercuten o ayudan a orientar los proyectos de diseño urbano, en función de alcanzar proyectos encaminados a la recuperación del recurso hídrico de la ciudad.

De igual modo interesa analizar si existe una correlación clara entre los objetivos marcados en estos documentos y las estrategias que proponen para alcanzarlos. Finalmente, se busca analizar si los documentos tienen una visión conjunta de la gestión de agua urbana y comparten terminologías que permitan realizar una lectura transversal de los mismos.

Con este análisis se busca establecer un panorama general de cómo se lleva el tema de la gestión hídrica a nivel de la ciudad, y si existen vacíos normativos o conceptuales que degeneren posteriormente en posibles errores en el diseño del espacio público urbano o en intervenciones con un impacto negativo sobre los recursos hídricos.

Como primer acercamiento a este análisis, se determino que es importante establecer un orden jerárquico, el cual en este caso será determinado por 2 factores fundamentales: la escala de aplicabilidad y la obligatoriedad en el cumplimiento. Esto permite establecer un orden secuencial en los objetivos propuestos y determinar cuáles son los temas a los que la ciudad le da prioridad actualmente.

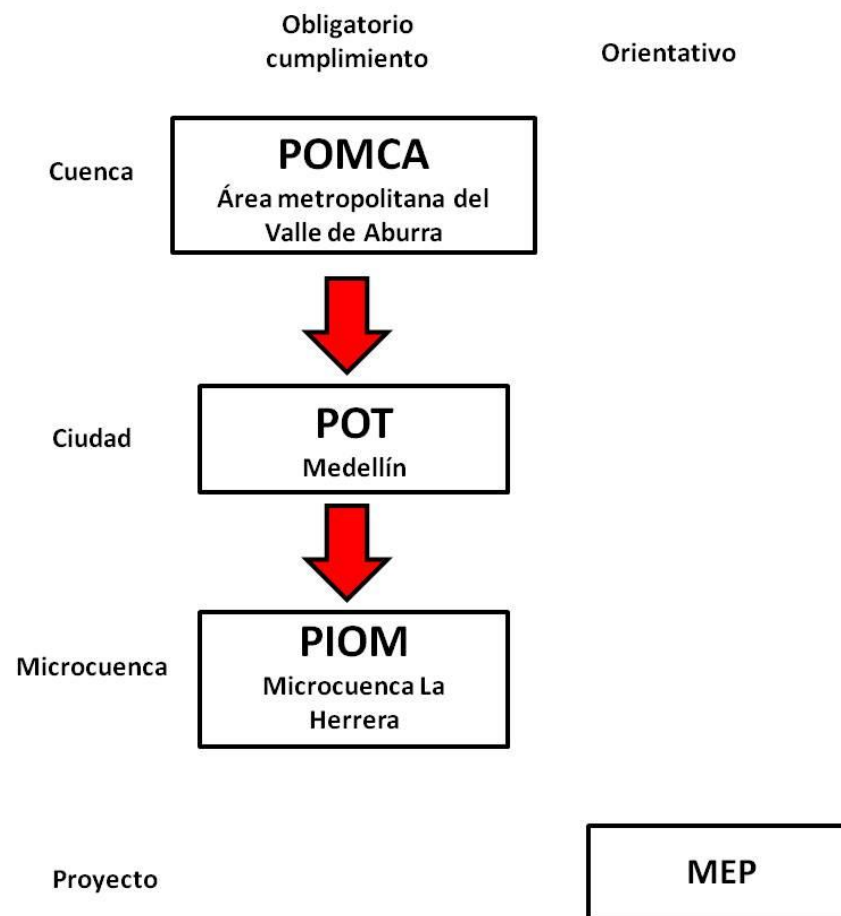


Figura 34: Cuadro de jerarquización de directrices analizadas. Fuente: Elaboración propia.



Como se puede observar en la figura 33, el POMCA es el principal documento normativo que rige los temas relacionados con la gestión de agua en la cuenca del río Aburrá. Abarca una escala metropolitana y sus lineamientos son de obligatorio cumplimiento. Este documento posiciona la “cuenca hidrográfica” como principal unidad de ordenamiento del territorio, constituyéndose en uno de los principales instrumentos de planificación y gestión a nivel metropolitano, aportando lineamientos comunes para todos los municipios que comparten territorio.

Este documento se desarrolla en tres fases; diagnóstico, prospectiva y formulación, siendo la fase de diagnóstico el mayor aporte del documento, en la cual se logran identificar las problemáticas actuales de cada uno de los componentes que conforman la cuenca. La fase de Prospectiva define objetivos y estrategias mediante la construcción de escenarios a futuro y la fase de formulación define programas y proyectos, que buscan viabilizar los objetivos en el horizonte de planificación.

El análisis de este documento permitió establecer lo siguiente:

- Por primera vez en el Valle de Aburrá, se determina la cuenca hidrográfica como unidad de ordenamiento territorial y se establecen objetivos comunes para todos los municipios que comparten el territorio, siendo esta sinergia un aspecto muy positivo.

- La fase de diagnóstico se realiza por medio de componentes (agua, suelo, aire, físico espacial etc.), las cuales se diagnostican de forma aislada, no se establecen correlaciones entre ellas, lo que impide conocer como inciden sobre el recurso hídrico los demás componentes evaluados, siendo de especial interés para esta tesis conocer cómo entiende la norma la repercusión del componente físico espacial sobre el recurso agua.

- Finalmente al ser este en su mayoría un documento de diagnóstico no se logran llegar al punto de aportar herramientas concretas que orienten el diseño urbano hacia un desarrollo orientado a la recuperación del recurso hídrico de la cuenca, limitándose a un aporte de estrategias muy generales.

En segundo nivel de jerarquía se encuentra el POT cuya escala de aplicabilidad es a nivel de la ciudad de Medellín y sus lineamientos son de obligatorio cumplimiento.

El análisis de este documento permitió establecer lo siguiente:

- El documento establece unos lineamientos urbanísticos mediante objetivos, estrategias, programas y proyectos a través de los cuales se pretende alcanzar un imaginario de ciudad o escenarios de futuro.

- Al igual que el POMCA su aporte llega hasta la fase de proyectos, siendo estos muy genéricos. En este documento no se alcanza a aportar herramientas concretas que sean fácilmente aplicables a los proyectos urbanos con el fin de alcanzar los objetivos propuestos relacionados con la gestión integral del agua.

El tercer nivel de jerarquía es para el PIOM, tiene una escala de aplicación local y es una directriz de obligatorio cumplimiento.

El PIOM desarrolla la misma metodología de análisis de cuencas implementado por el POMCA, pero a una escala local, en este caso específico; en el ámbito de la microcuenca La Herrera.

El análisis de este documento permitió establecer lo siguiente:

- Se desarrolla en tres fases; diagnóstico, prospectiva y formulación y es principalmente un documento técnico, en el cual se elabora un amplio diagnóstico del estado de la microcuenca.

- El PIOM de La Herrera fue realizado con el fin de orientar los diseños del parque lineal de La Herrera, el cual, como se menciona en el capítulo 1, es uno de los 30 proyectos que conforman el PUI N, específicamente es el proyecto que interviene el cauce de la quebrada a lo largo de unas 5 cuadras, en el sector de Popular. Al estar el PIOM, enfocado para orientar este proyecto, pierde en muchas ocasiones el concepto de microcuenca, limitándose solamente a la recuperación del cauce de la quebrada. En este punto específicamente se perdió la oportunidad de orientar el resto de los proyectos del PUI N, bajo los conceptos del diagnóstico del PIOM, con la finalidad de alcanzar diseños que aporten a la gestión integral del agua en la totalidad de la microcuenca.

- A pesar de ser un documento de aplicación local, su aporte sigue siendo muy orientado a la construcción de escenarios desarrollados de una forma muy genérica, perdiendo la oportunidad de proponer herramientas técnicas concretas que orientar los procesos de diseño y construcción de los proyectos de renovación urbana hacia la recuperación del componente hídrico.

En el último nivel de jerarquía se encuentra El MEP, tiene una escala de aplicación a nivel de proyecto y aunque no es un documento de carácter

normativo sino orientativo, se incluyó en el análisis por ser fundamental para el proceso de diseño del espacio público.

El análisis de este documento permitió establecer lo siguiente:

- Es un documento que tiene 10 años de antigüedad y se elaboró cuando la ciudad empezó a invertir en el mejoramiento de espacio público.

- Este documento es el único de los cuatro analizados que aporta herramientas concretas de diseño y construcción de espacio público.

- Sin embargo estas herramientas están orientadas en función de propiciar una adecuada movilidad y accesibilidad; y su concepto de sostenibilidad está definido por la utilización de materiales que tengan una vida útil prolongada.

- No se tiene en cuenta el potencial que hay en la construcción del espacio público para mejorar el balance hídrico y gestionar correctamente el agua urbana, lo cual lo hace estar desvinculado de los objetivos propuestos por las normativas de ordenamiento territorial.

- Aunque el panorama actual de la ciudad ha cambiado debido a factores climáticos de los últimos años, y a que las intervenciones de espacio público se realizan ahora no solo en el valle de la ciudad sino también en las laderas informales, el MEP no se ha actualizado al nuevo panorama de la ciudad.

A nivel de conjunto el análisis plantea lo siguiente:

- La normativa a medida que va descendiendo de escala de aplicación sigue siendo muy enfocada al diagnóstico y a proponer estrategias y proyectos muy generales.
- Aunque se logra percibir una problemática compartida relacionada con el estado actual del recurso hídrico de la ciudad, y aunque el conjunto de documentos tienen una escala secuencial muy bien definida, (cuenca, ciudad, microcuenca y proyecto), su aplicabilidad y los conceptos trabajados relacionados al recurso hídrico, no corresponden con esa secuencialidad.
- Hay diferencias en la definición de terminologías entre los diferentes documentos, que hace difícil una revisión transversal de los mismos. Por lo cual se propone como oportunidad de mejora, establecer una terminología común para todos los documentos.
- Entre el conjunto de normativas analizadas se identifica que el PIOM y El MEP, representan la mayor oportunidad para aportar herramientas técnicas concretas en función de orientar un desarrollo integral en los proyectos de diseño urbano, apostando hacia proyectos que aborden la dimensión de gestión integral del agua por medio del espacio público.
- Por último se propone pasar del esquema actual de jerarquización de normativas a uno que propicie relaciones entre ellas, generando vínculos directos de retroalimentación, que permitan replicar esa secuencialidad que tienen en la escala de aplicación, a una secuencialidad de conceptos y de objetivos.

## CAPITULO IV

### ESTRATEGIAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HIDRICO DE LA MICROCUENCA LA HERRERA DESDE EL DISEÑO URBANO.

#### 1. Introducción

El presente capítulo pretende mostrar posibles estrategias de actuación que permitan mejorar la calidad medioambiental de la microcuenca urbana La Herrera a partir de vincular estrategias de gestión de agua dentro de una propuesta de diseño urbano en un área seleccionada.

El planteamiento se basa en la visión de “Diseño Urbano Sensible del Agua” y trabaja en 4 dimensiones: gestión de la contaminación; Gestión de la demanda de agua, Gestión del balance Hídrico y Gestión medioambiental, este último enfocado en la potencialización de los servicios ecosistémicos que puede ofrecer un espacio urbano de buena calidad medioambiental.

Finalmente se presentan escenarios de actuación para mejorar la gestión de agua en escalas temporales definidas, siguiendo los principios de mejora, optimización y renovación.

#### 2. Selección del área de intervención

PROPUESTA: PARQUE AMBIENTAL EN EL BARRIO SANTO DOMINGO SAVIO, COMUNA 1, MICROCUENCA LA HERRERA

#### 2.1. Criterios para la selección del área de intervención

El área de intervención seleccionada para el desarrollo del proyecto demostrativo es El Cerro Santo Domingo Savio, siguiendo los siguientes criterios:

EL PIOM establece que el sector de Santo Domingo se debe consolidar como área de centralidad barrial, el cual proporcione equipamientos y servicios complementarios a la microcuenca. El proyecto de parque ambiental propuesto busca consolidar el plan del PIOM, complementando los servicios culturales y recreativos existentes mediante un equipamiento de enseñanza medioambiental.

#### 2.2. Descripción del área de intervención

El cerro Santo Domingo, como se describe en el capítulo de antecedentes, se encuentra ubicado en la comuna 1 de la ciudad de Medellín, en el área de influencia del *Metrocable*. En esta zona se llevó a cabo un conjunto de actuaciones de transformación urbana denominado PUI Nororiental, el cual intervino diversos puntos de la microcuenca, siendo el sector de Santo Domingo la zona que alcanzó mayor consolidación a partir de la construcción del parque biblioteca y la centralidad Santo Domingo.

La selección de esta área como punto de intervención busca complementar las anteriores actuaciones de espacio público y equipamientos, con la adecuación del cerro Santo Domingo como un parque urbano de educación ambiental, en el cual se llevarán a cabo procesos de gestión integral del agua, orientados a la recuperación de la microcuenca. En la figura 35 se puede observar las intervenciones realizadas por el PUI Nororiental en esta zona.

### Plano PUI - Cerro Santo Domingo Savio

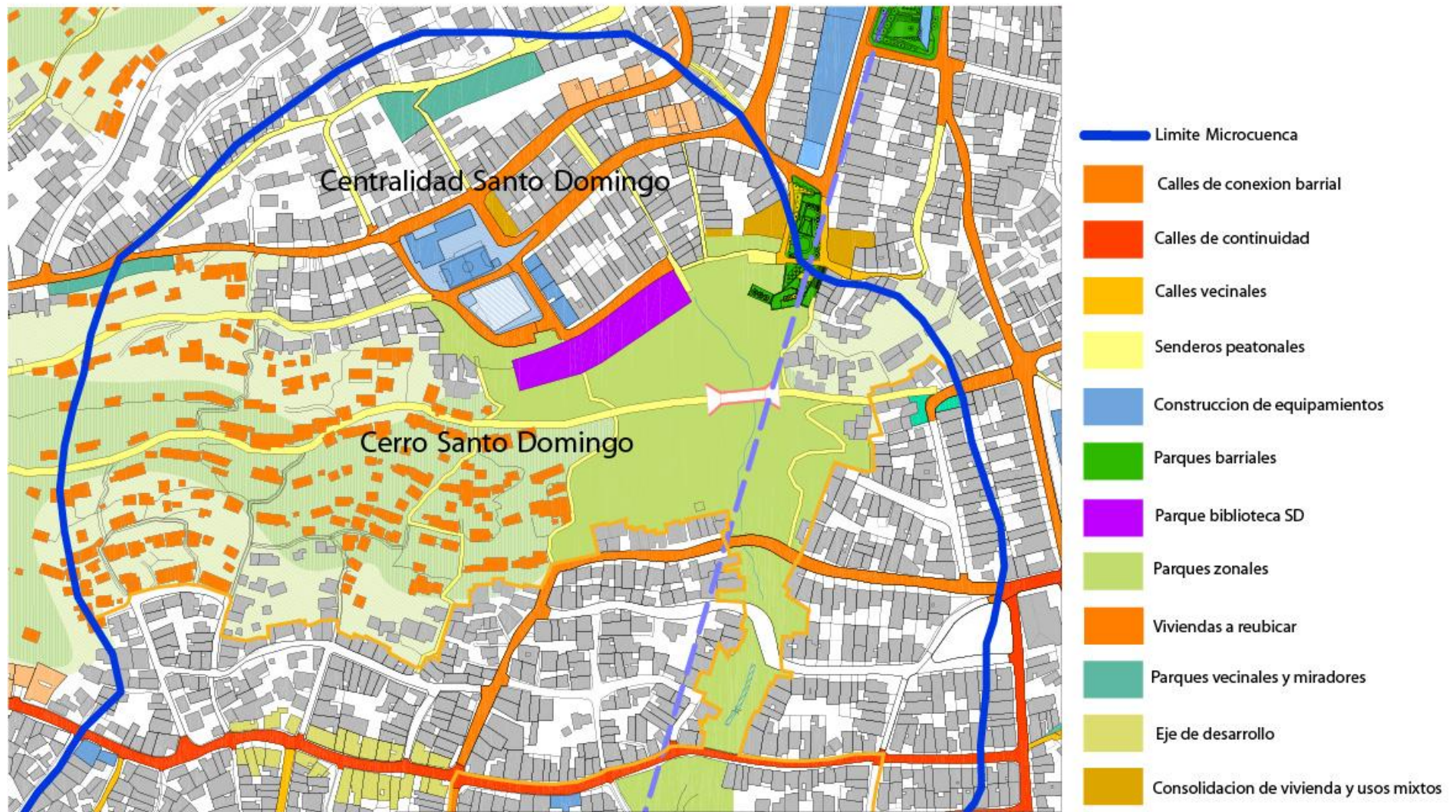


Figura 35: Proyectos ejecutados por el PUI Nororiental en la zona del cerro Santo Domingo: Fuente: Archivo Empresa de Desarrollo Urbano - EDU





Figura 37: Parque Biblioteca Santo Domingo. Centralidad Santo Domingo. Noviembre de 2009. Fuente: Archivo Alcaldía de Medellín,



Figura 36: Parque y paseo peatonal La Candelaria. Centralidad Santo Domingo. septiembre 2009. Fuente: Archivo EDU



Figura 38: Parque de los niños. Centralidad Santo Domingo. Septiembre 2009. Fuente: Archivo EDU



El cerro Santo Domingo constituye la parte alta o cabecera de la microcuenca, es una zona altamente urbanizada que capta las aguas a través de un sistema de alcantarillado y las descarga en el inicio del canal, en esta zona puede percibirse el afloramiento de la quebrada con aguas altamente contaminadas como se indica en la figura 41. El cerro es también el mayor fragmento verde del sistema, cuenta con un área de 70386 m<sup>2</sup> y es un punto de gran interés para la conectividad biológica. Su intervención representa una gran oportunidad para continuar con la consolidación del parque lineal de La Herrera cuya primera fase fue diseñado y ejecutado por el PUI Nororiental en el sector del Popular. Esta conexión permitirá ir construyendo y fortaleciendo un corredor verde que conecte la ciudad con la reserva natural del Parque Arví. Ver figuras 39 y 40.



Figura 39: Fase de diseño y construcción del parque Lineal de la Herrera. Año 2010 Fuente: Archivo EDU

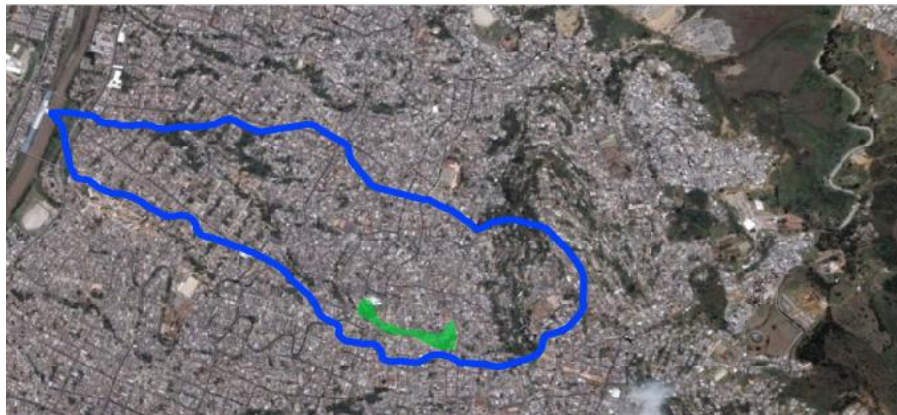


Figura 41: Intervención del PUI Nororiental sobre la quebrada La Herrera. Fuente: Elaboración propia.



Figura 40: Consolidación del cerro Santo Domingo como Parque ambiental. Fuente: Elaboración propia.



### 2.3. Pendientes

El cerro presenta altas pendientes, en algunos puntos superiores al 60%. Está catalogado como suelo vulnerable a deslizamientos de tierra por colmatación del suelo, debido a procesos erosivos ocasionados por la escorrentía y la pérdida de cobertura vegetal. Estos dos factores son el mayor desafío para la adecuación del cerro como espacio público y para gestionar adecuadamente las aguas urbanas. Actualmente se encuentra ocupado por 150 viviendas en estado precario, que no cuentan con servicios de acueducto ni alcantarillado, las cuales ya hacen parte de un programa municipal de reubicación de viviendas.



Figura 42: Fotografía del cerro Santo Domingo. Fuente: <http://scottkobewka.com>, consultado octubre2010

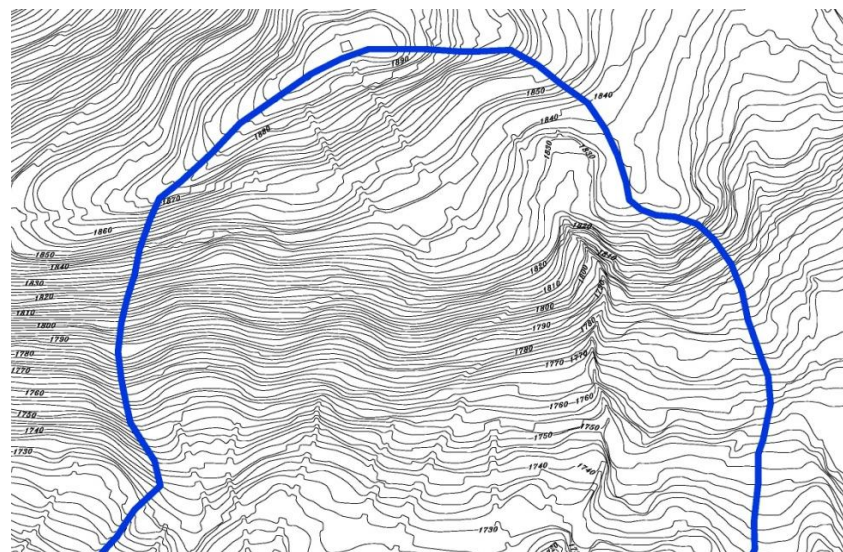


Figura 43: Plano topográfico cerro Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia

### 2.4. Subcuencas

El cerro está conformado por tres subcuencas urbanas, que fueron identificadas a partir del plano topográfico, del trazado de las calles existentes y el plano de catastro, siguiendo la hipótesis de que la red de alcantarillado sigue la misma dirección de escurrimiento de las vías, hipótesis basada en el conocimiento del sitio. Como puede observarse en la figura 44, se identifican 3 subcuencas divididas en 10 sub-subcuencas urbanas, las cuales obedecen a las líneas primarias de alcantarillado. Ver figura 44.



## Plano de Subcuenclas

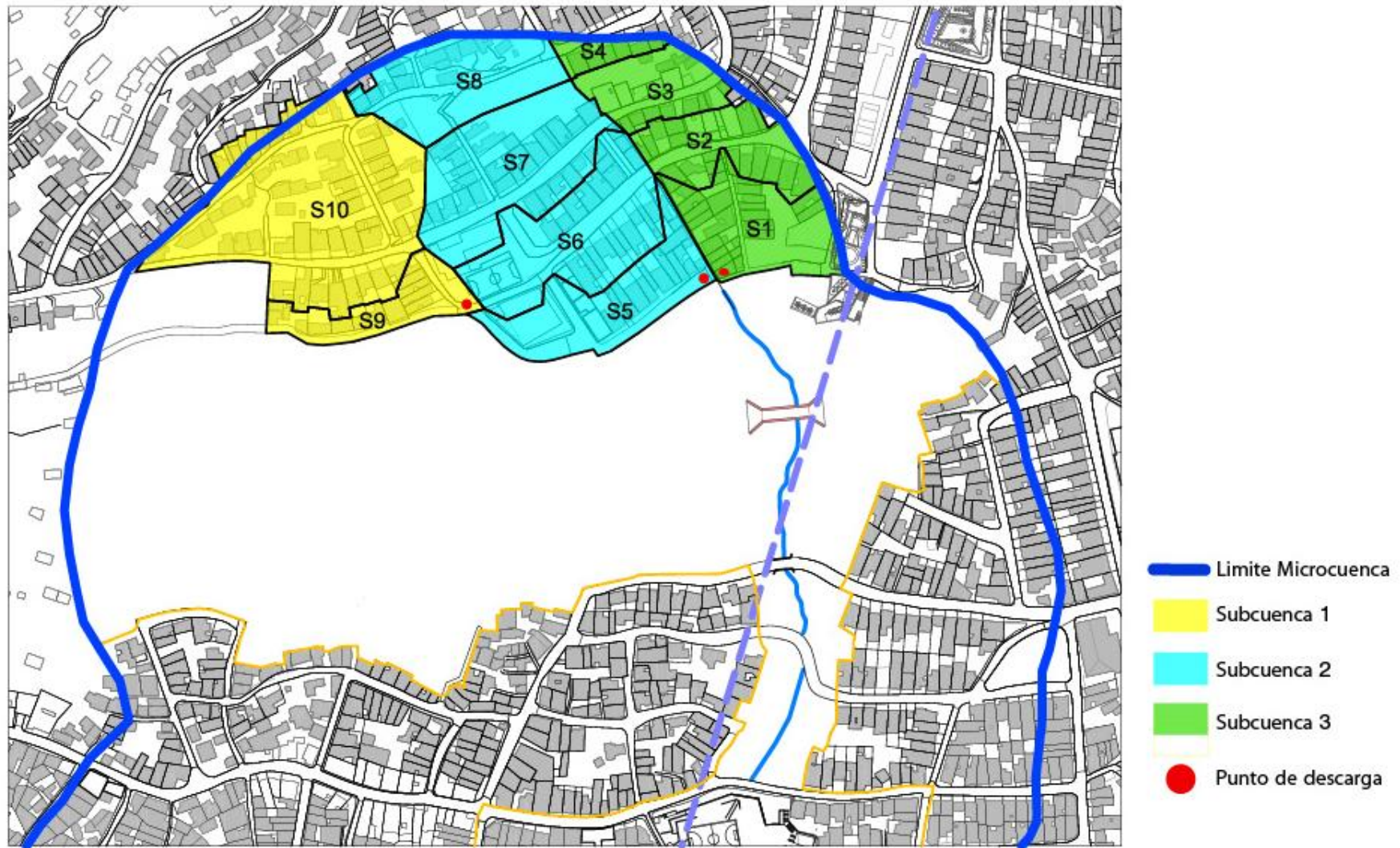


Figura 44: División de subcuenclas y sub-subcuenclas. Fuente: Elaboración propia

**Subcuenca 1 (verde)**

Subsubcuencas	Area cosntruida m2	Area verde m2	% area construida	% area verde
1	2840,36	651,64	81,34	18,66
2	2763,35	0	100,00	0,00
3	1396,48	908,45	60,59	39,41
4	734,26	0	100,00	0,00

**Area Total 9294,54 m2**

Figura 46: Área de subcuenca 1 y sus correspondientes sub-subcuencas. Fuente: Elaboración propia

**Subcuenca 2 (cian)**

Subsubcuencas	Area cosntruida m2	Area verde m2	% area construida	% area verde
5	3663,95	0	100,00	0,00
6	4875,15	0	100,00	0,00
7	4209,81	1103,32	79,23	20,77
8	4803,83	1431,11	77,05	22,95

**Area Total 20087,17 m2**

Figura 45: Área de subcuenca 2 y sus correspondientes sub-subcuencas. Fuente: Elaboración propia

**Subcuenca 3 (Amarillo)**

Subsubcuencas	Area cosntruida m2	Area verde m2	% area construida	% area verde
9	2103,27	0	100,00	0,00
10	4474,2	2631,23	62,97	37,03

**Area Total 9208,7 m2**

Figura 47: Área de subcuenca 3 y sus correspondientes sub-subcuencas. Fuente: Elaboración propia

## 2.5. Proyecto Parque ambiental Santo Domingo

### 2.5.1. Proyecto demostrativo y visión a futuro de la microcuenca urbana

El proyecto del Parque ambiental se presenta como una intervención singular en la microcuenca urbana. Sin embargo basa su planteamiento en una mirada de recuperación ambiental a largo plazo.

Para la autora del presente trabajo, es fundamental presentar la idea del Parque Ambiental como parte de una visión interdisciplinar de rehabilitación urbana y social, y establecer que su materialización corresponde a la fase inicial de un proceso urbano planteado en diferentes escalas temporales.

En el anexo 5, se expresa en resumen las problemáticas presentes en la microcuenca urbana La Herrera y las estrategias que se plantean en los documentos oficiales (POT, POMCA, POT) estudiados en el capítulo número tres (3). Estas problemáticas se agrupan en paquetes que corresponden a las estrategias de recuperación ambiental que se describen en el siguiente apartado (2.5.2) y a los componentes del ciclo hídrico urbano (Marsalek, 2006). Finalmente el cuadro, muestra objetivos de mejoramiento a cada problemática detectada y plantea herramientas que corresponden a los componentes del ciclo hídrico.

El proyecto demostrativo que trata este trabajo de tesis materializa la visión a corto plazo de la propuesta de recuperación.

### 2.5.2. Estrategias de recuperación ambiental propuestas en el proyecto demostrativo

El Parque Ambiental Santo Domingo, es un espacio de carácter público, el cual se ha diseñado bajo 6 estrategias:

1. La educación ambiental
2. La gestión de la contaminación
3. La gestión del balance hídrico
4. La gestión del consumo
5. La gestión de la vulnerabilidad
6. La potencialización de servicios ecosistémicos

Mediante las cuales se busca llevar a cabo el objetivo del proyecto el cual es la recuperación ambiental del cerro, consolidando un espacio de educación ambiental, por medio del espacio público.

Cada una de las estrategias planteadas, se desarrolla mediante unas herramientas que permiten llevar al plano real dicha gestión.

**La gestión de la contaminación** se lleva a cabo mediante tres herramientas:

- La construcción de un sistema de alcantarillado separativo, que permita gestionar de forma independiente las aguas negras de las aguas pluviales, con el fin de evitar la contaminación de las últimas.



- La implementación de humedales construidos que depuren las aguas negras provenientes de las viviendas antes de ser reincorporadas al cauce de la quebrada.

- Zonas de bioretención que comparten funciones con la gestión del balance hídrico, que en este caso llevarán a cabo procesos de depuración del agua de escorrentía para tratar la contaminación difusa, antes de su aprovechamiento, infiltración controlada o vertimiento controlado a la quebrada.

**La gestión del balance hídrico** se lleva a cabo mediante tres herramientas:

- Reforestación del cerro con la cual se plantea mejorar la evotranspiración.
- Implementación de zonas de buffer strips en las áreas que cuentan con mayor pendiente con el fin de evitar la infiltración directa del agua en el terreno y disminuir la velocidad de escorrentía.

- Implementación de zonas de bioretención con el fin de dirigir el agua de escorrentía a espacios de almacenamiento temporal para evitar la colmatación del suelo y luego almacenar estas aguas para posteriores riegos en las zonas de agricultura urbana.

**La gestión del consumo** se lleva a cabo mediante dos herramientas implementadas en dos manzanas piloto anexas al parque.

- La aplicación de tecnologías de ahorro, como reductores de caudal y sanitarios de doble descarga.

- La captación de aguas de lluvia, para la diversificación de fuentes de agua.

**La gestión de la vulnerabilidad** busca abordar las diferentes dimensiones, proponiendo herramientas de carácter técnico, social y cultural que consoliden el parque como un proyecto integral.

Entre las herramientas técnicas tenemos:

- La reubicación de viviendas que actualmente están invadiendo el cerro.
- El mejoramiento de infraestructura para la recogida, y tratamiento de aguas negras y lluvias.
- El control de deslizamientos originados por procesos de erosión en las altas pendientes.

En la dimensión social se propone:

- Incentivar la gestión comunitaria de agua lluvia a escala piloto, como herramienta de empoderamiento comunitario y a nivel de situaciones de riesgo por contaminación.
- El tratamiento de aguas negras por medio de humedales construidos.

Por último y no menos importante la dimensión cultural, que se basa en la educación ambiental y busca abordar la falta de apropiación y pertenencia de la población hacia su entorno, por medio de:

•Un espacio de educación ambiental (Aula Ambiental) complementario a la centralidad santo Domingo que mediante talleres participativos de sensibilización como talleres de agricultura urbana logren alcanzar el empoderamiento de la comunidad en la recuperación ambiental del cerro.

Como resultado de la correcta gestión de los fenómenos anteriormente mencionados, se alcanza un escenario propicio que permite la potencialización de diversos **servicios ecosistémicos** a diferentes escalas.

Estos pueden ser entendidos como el conjunto de procesos que se derivan de la recuperación ambiental del cerro como son:

- Purificación del agua
- Control de enfermedades
- Regulación de caudales
- Polinización
- Purificación del aire
- Formación de suelos
- Ciclos de nutrientes
- Almacenamiento de materia orgánica
- Recreación
- Educativos
- Sentido de pertenencia
- Agricultura urbana



Figura 49: Huertos urbanos para jubilados, Parque de San Martí, Barcelona. Fuente: <http://www.ruraliberica.com/fotos/foto.asp?id=5360>



Figura 48: Huertos urbanos. Fuente: [http://www.planetajoy.com/?5\\_ciudades\\_del\\_mundo\\_en\\_donde\\_esta\\_de\\_moda\\_la\\_huerta\\_urbana&page=ampliada&id=44](http://www.planetajoy.com/?5_ciudades_del_mundo_en_donde_esta_de_moda_la_huerta_urbana&page=ampliada&id=44)

## 2.6. Componentes del parque Ambiental Santo Domingo

### 2.6.1. La Educación Ambiental

Esta estrategia se lleva a cabo mediante la implementación del aula ambiental Santo Domingo, la cual es un espacio que busca ayudar a que las personas desarrollen un conocimiento comprensivo acerca del medio ambiente, que le lleven a entender su funcionamiento y la problemática desencadenada como consecuencia de un modelo de desarrollo inadecuado. De este modo se pretende elevar el grado de concienciación, actitudes y valores, así como la voluntad y la capacidad de actuar en consonancia con los mismos para paliar y frenar los problemas ambientales presentes, y prevenir otros que pudieran presentarse en el futuro.

Teniendo en cuenta que esta zona ya ha vivido procesos de transformación urbana en la que su población se ha visto involucrada y comprometida mediante procesos participativos en la puesta en marcha de estas nuevas experiencias urbanas, actualmente se cuenta con una población preparada para afrontar procesos de empoderamiento en el nuevo reto de restauración ambiental del cerro. El aula ambiental busca ofrecer a una comunidad que actualmente se encuentra organizada un espacio para la discusión, la educación y la construcción de imaginarios colectivos relacionados con el desarrollo y su adecuada relación con el medio ambiente.

El Aula Ambiental será la encargada de administrar y gestionar el Parque Ambiental Santo Domingo, el cual será una extensión de sus instalaciones en la cual podrá enseñarse los diferentes procesos relacionados con la

gestión de agua que hicieron posible la recuperación de la cabecera de la microcuenca La Herrera.

Los principales objetivos del Aula Ambiental son los siguientes:

- Orientar la centralidad Santo Domingo, consolidada anteriormente por el PUI Nororiental, hacia un desarrollo urbano sostenible, mediante la adecuada gestión del recurso hídrico en diferentes escalas de actuación.
- Promover espacios de comunicación y difusión de experiencias, de enseñanzas y de técnicas de educación ambiental entre los distintos sectores de la población implicados en su puesta en práctica.
- Iniciar, conducir y apoyar talleres participativos encaminados al desarrollo de la educación ambiental, promoviendo los cambios necesarios en el comportamiento individual y colectivo, para frenar el deterioro ambiental y alcanzar una relación armónica con el medio ambiente.
- Propiciar una toma de conciencia institucional que favorezca el apoyo de los poderes públicos y de las autoridades al desarrollo de la educación ambiental.
- Intercambiar experiencias con otras asociaciones que contribuyan a los fines de la educación ambiental en el ámbito de la ciudad.



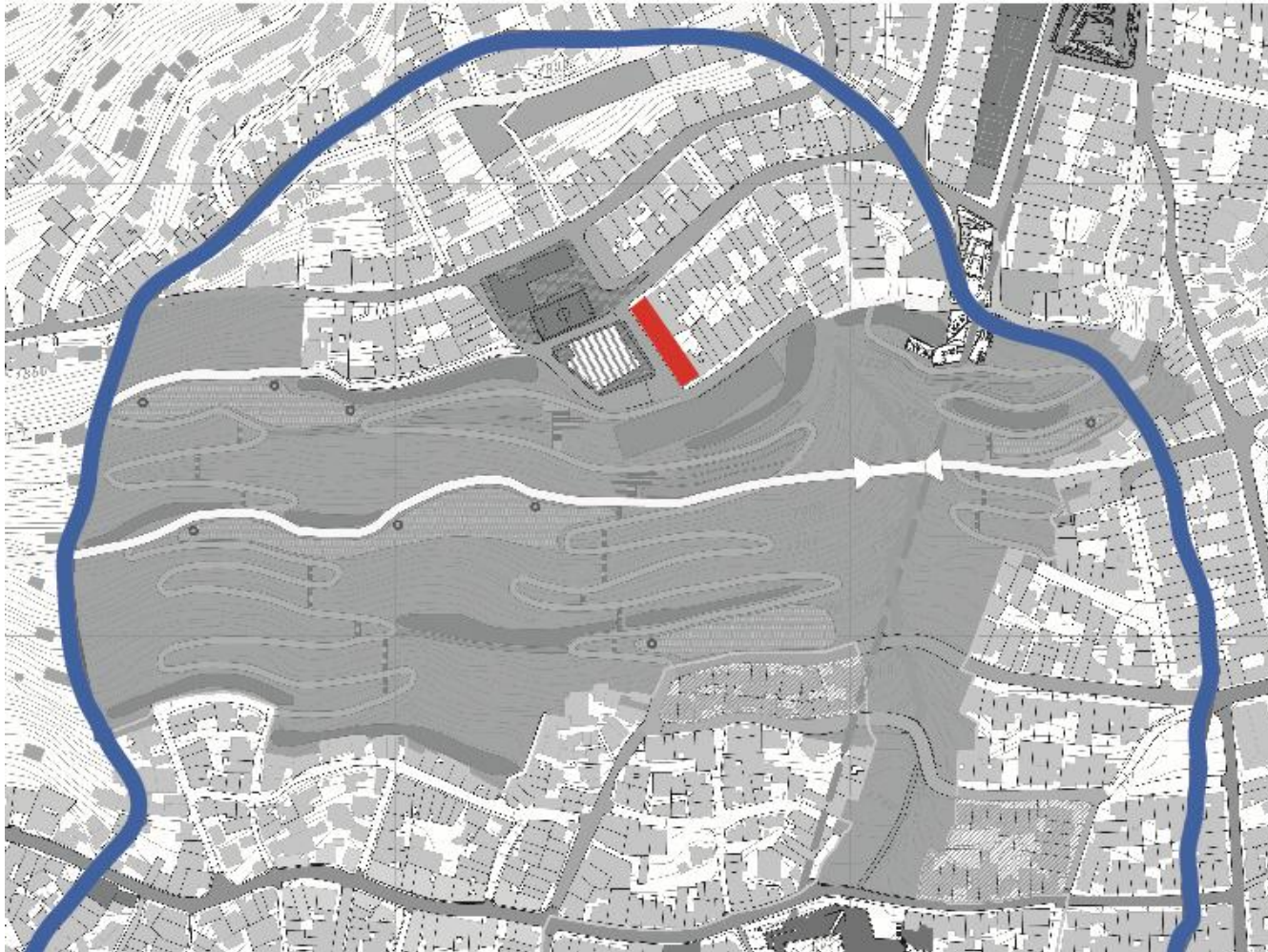


Figura 51: Propuesta Aula Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia



Figura 50: Comunidad participando del Taller de Imaginarios PUI Nororiental. Fuente: Archivo PUI Nororiental.

## 2.7. Estrategias para gestionar la contaminación

### 2.7.1. Sistema de alcantarillado separativo

El sistema de saneamiento urbano es definido como aquel conjunto de técnicas e instalaciones que permiten evacuar las aguas pluviales y residuales generadas en la ciudad al medio natural, sin riesgos sanitarios ni medioambientales (Herce y Miro, 2002).

Las redes de saneamiento pueden ser unitarias o separativas, según conduzcan las aguas de drenaje y las residuales de forma conjunta o separada (Herce y Miro, 2002). Según las directrices de diferentes organizaciones que trabajan la gestión integral de agua urbana, es necesario contar con sistemas separativos para una correcta gestión de la misma.

La red hídrica de la cuenca La Herrera presenta características físicas muy especiales que están determinadas por los procesos de urbanización e invasión a los que ha sido sometida. Tanto los canales como las zonas aledañas a ellos han sido utilizados para fines constructivos constituyéndose sobre estas una malla urbana muy densa, que ha convertido la red hídrica en el lugar de descarga de aguas residuales y el depósito de basuras (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005).

El sistema de alcantarillado que prevalece actualmente en la zona es un sistema precario construido por la comunidad a medida que el barrio se consolidaba, el cual consiste básicamente en un sistema unitario que conduce las aguas mixtas provenientes de las viviendas y los aliviaderos de

las vías al cauce de la quebrada La Herrera, generando un vertimiento directo en dicho afluente.



Figura 52: Sistema de alcantarillado existente en la zona, y nacimiento de la quebrada La Herrera. Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005)

Este vertimiento directo es la principal fuente de contaminación de la quebrada y el principal tema a resolver en el proyecto. Según indica el informe PIOM, después de haber realizado los análisis físico químicos y microbiológicos de la quebrada, el estado del agua en el punto de su afloramiento es TIPO 4 MUY DEFICIENTE y requiere tratamientos que incluyan fases de pretratamiento, sedimentación, filtración, descaotaminación y estabilización. Ver figura 52.



Parámetro	Mayo 26 de 2005	Junio 16 de 2005	Julio 14 de 2005	Nivel máximo admisible
Análisis Físicoquímico				
Caudal promedio, l/s	4.31	3.79	4.18	-
Acidez total, mg CaCO <sub>3</sub> /l	105.0	78.0	114.0	50
Alcalinidad total, mg/l CaCO <sub>3</sub> /l	87.1	123.8	121.8	100
Cloruros, mg Cl-/l	43.7	43.3	43.9	250
Color Verdadero, unidades de color	300	200	400	<=15
Color Aparente, unidades de color	400	400	750	
Conductividad, $\mu$ S/cm	447	503	489	50 – 1000
DBO <sub>5</sub> total, mg O <sub>2</sub> /l	348.0	246.0	322.6	
DQO total, mg O <sub>2</sub> /l	614.93	518.82	615.26	
Dureza total, mg CaCO <sub>3</sub> /l	110.00	149.57	54.09	160
Hierro Total, mg/l Fe <sup>3+</sup>	4.458	5.228	4.237	0.3
Magnesio, mg Mg/l	3.641	5.982	3.136	36
Manganeso, mg Mn/l	0.099	0.192	0.163	0.1
Grasas y/o aceites, sustancias solubles en hexano	-	135.4	125.44	Ausentes
Nitratos, mg NO <sub>3</sub> -N/l	0.77	130.0	<0.5	10
Nitritos, mg NO <sub>2</sub> -N/l	0.028	<0,004	0.004	0.1
Oxígeno disuelto, mg O <sub>2</sub> /L	-	1.8	2.0	>=4
Ortofosfatos, mg P/L	9.62	2.57	13.84	
PH, unidades de pH	6.65	7.15	7.04	6.5 – 9.0
Sólidos suspendidos totales, mg/L	212	240	217	
Sólidos totales, mg/L	522	560	578	<=500
Sólidos disueltos totales mg/L	310	320	361	
Sólidos totales volátiles mg/L	322	404	388	
Sólidos totales fijos mg/L	200	156	190	
Sulfatos, mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	37.9	32.7	27.2	250
Turbiedad, NTU	191	231	276	<=5
Análisis Microbiológico				
Recuento Total de microorganismos meso-aeróbios, UFC/100ml	1.1*10 <sup>12</sup>	1.1*10 <sup>12</sup>	3.5*10 <sup>6</sup>	<=100 UFC por 100 ml
Número más probable de coliformes totales, NMP/100ml	>160.0*10 <sup>9</sup>	>160.0*10 <sup>9</sup>	1.4*10 <sup>6</sup>	0 en 100 ml
Número más probable de coliformes fecales, NMP/100ml	17.5*10 <sup>7</sup>	17.5*10 <sup>7</sup>	1.4*10 <sup>15</sup>	0 en 100 ml

Figura 53: Reporte de ensayo de los análisis físicoquímicos, biológicos e instrumentales de las muestras de agua cruda de la microcuenca la Herrera, punto 1 (nacimiento). Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005)



Figura 54: Aforo y toma de muestras quebrada La Herrera. Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005)



Dada a la imposibilidad de conectar el alcantarillado de algunas zonas de la parte alta de la microcuenca (Centralidad Santo Domingo) a la red urbana de alcantarillado, debido a las fuertes pendientes, las características urbanas del lugar y lo costoso de tal cometido, es necesario plantearse el tratamiento de las aguas residuales en el sitio antes de proceder al vertimiento en el cauce de la quebrada. Por tal motivo se plantea la construcción de un sistema de alcantarillado separativo como primera estrategia para el objetivo propuesto, lo cual permitiera tener un menor volumen de agua altamente contaminada y hacer más factible su proceso de descontaminación.

El sistema de alcantarillado propuesto tal y como se indica en las figuras 54 y 55, está definido por tres puntos de descarga que recogen el agua para la posterior fase de tratamiento.

El primer colector (subcuenca verde) recoge el agua procedente de 66 viviendas, con un promedio de habitantes de 4 por vivienda y un consumo de 133 l/día/habitante.

El segundo colector (subcuenca cian) recoge el agua procedente de 104 viviendas, con un promedio de habitantes de 4 por vivienda y un consumo de 133 l/día/habitante.

El tercer colector (subcuenca amarilla) recoge el agua procedente de 47 viviendas, con un promedio de habitantes de 4 por vivienda y un consumo de 133 l/día/habitante.

### Subcuenca 1

Numero de viviendas	66
Personas por vivienda	4
Población	264
Consumo lt/día/persona	110
Total de vertimientos lt/día	29040

### Subcuenca 2

Numero de viviendas	104
Personas por vivienda	4
Población	416
Consumo lt/día/persona	110
Total de vertimientos lt/día	45760

### Subcuenca 3

Numero de viviendas	47
Personas por vivienda	4
Población	188
Consumo lt/día/persona	110
Total de vertimientos lt/día	20680

Figura 55: Información general subcuencas 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

## Plano de Subcuencas y línea de aguas lluvias

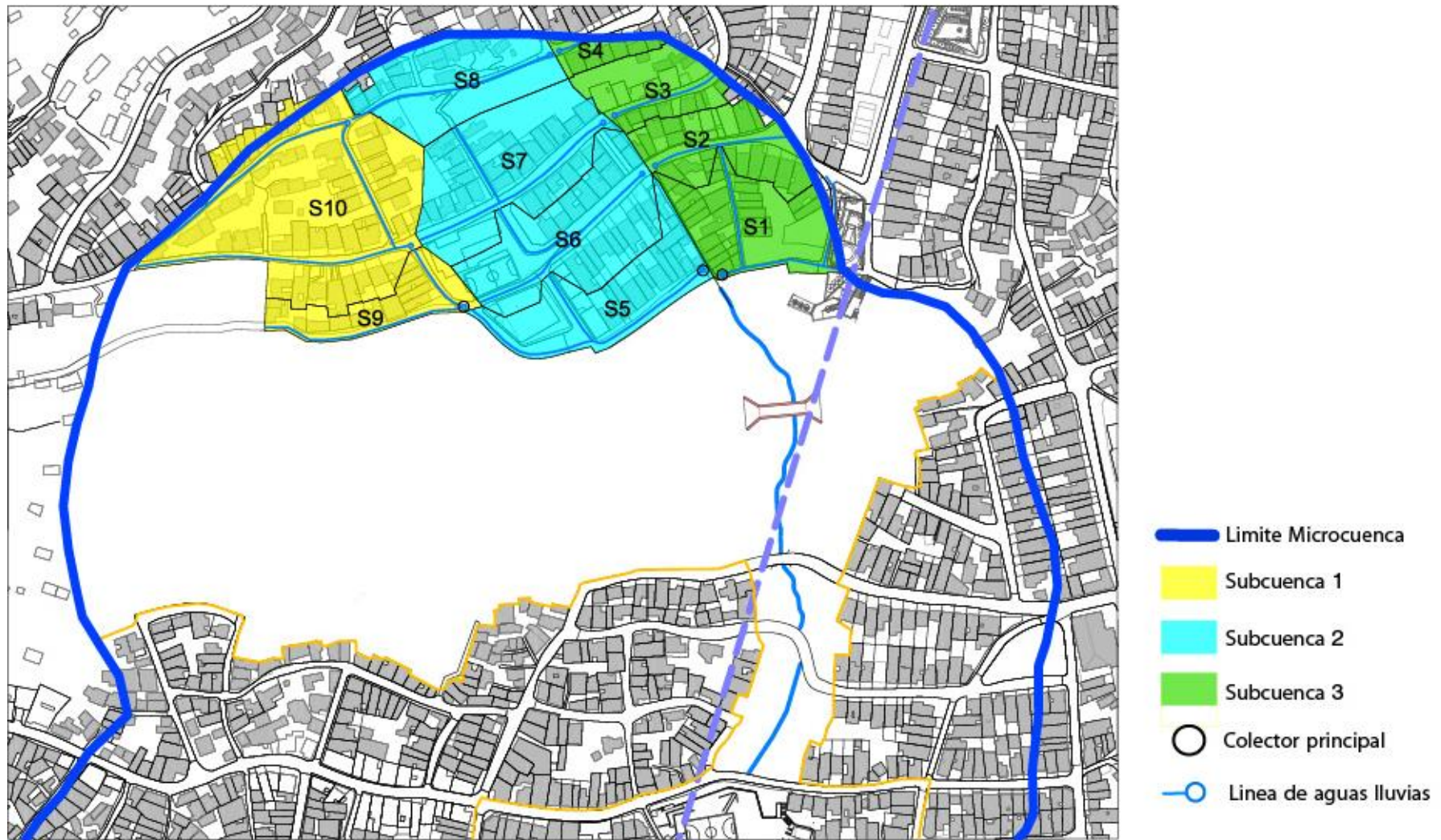


Figura 56: Alcantarillado Separativo. Sistema de drenaje de aguas lluvias. Fuente: Elaboración propia



## Plano de Subcuencas y línea de aguas negras

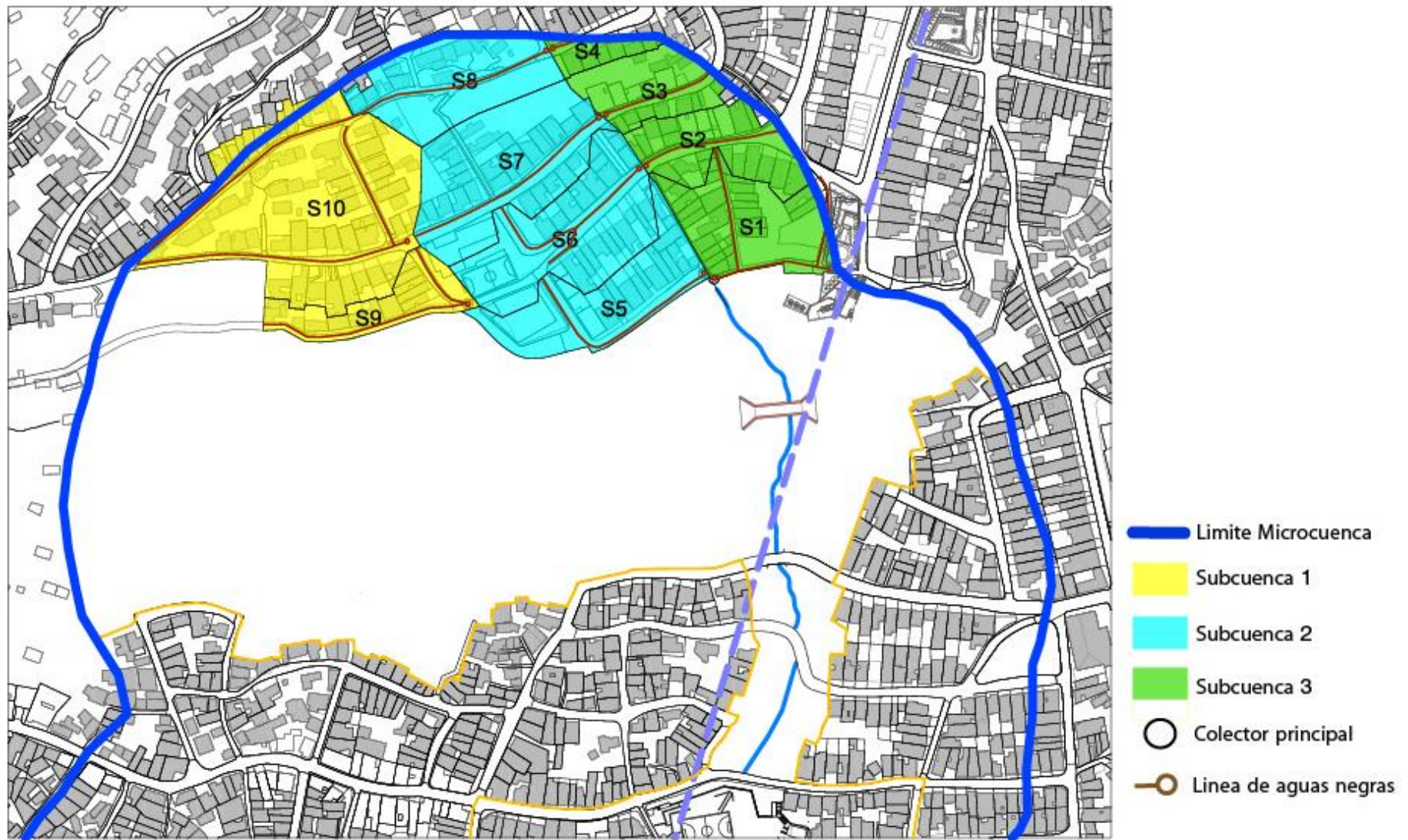


Figura 57: Alcantarillado Separativo. Sistema de drenaje de aguas pluviales. Fuente: Elaboración propia

### **2.7.2. Humedales construidos subsuperficiales de flujo horizontal**

Las características físicas y químicas de las aguas residuales urbanas obligan a un tratamiento previo antes de ser evacuadas al medio natural, con el fin de evitar riesgos sanitarios a las personas y daños al medio ambiente (Herce y Miro, 2002).

En un contexto de urbanización dispersa y en pequeñas comunidades de poca densidad de población, cabe utilizar un conjunto de técnicas basadas en el poder de tratamiento “natural” del propio suelo o incluso de la misma agua residual; técnicas que configuran los denominados sistemas de saneamiento “autónomo o tecnologías no convencionales” (sin aportación de energía externa), “extensivos” por la cantidad importante de suelo que precisan, o “individuales” ya que su ámbito de aplicación se circunscribe a pequeñas comunidades de población (Herce y Miro, 2002).

Este tipo de tecnologías se basan en actuaciones de bajo impacto ambiental, logrando la reducción de la carga contaminante con costes de operación inferiores a los de los tratamientos convencionales y con unas necesidades de mantenimiento sin grandes dificultades técnicas.

Los humedales artificiales representan una de estas tecnologías no convencionales y consisten en unas zonas construidas por el hombre en las que de forma controlada que, se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales naturales

Para el caso del Parque Ambiental Santo Domingo se implementa como sistemas de tratamiento de las aguas residuales un conjunto de humedales

#### **Calculo humedales subsuperficiales de flujo horizontal Subcuenca 1**

artificiales subsuperficiales de flujo horizontal indicados para el tratamiento de aguas residuales de núcleos de población inferiores a 2000 personas, lo cual corresponde con la escala de aplicación del proyecto. Estos humedales estarán precedidos por una fase de pretratamiento mediante un desbaste de gruesos y tanques Imhoff, con el fin de evitar la colmatación de los sustratos filtrantes.

En relación a los humedales de flujo superficial, los humedales de flujo subsuperficial presentan ciertas ventajas al necesitar menor superficie de terreno para su ubicación y al evitar los problemas de aparición de olores y mosquitos, sin embargo presentan un mayor coste constructivo por la adquisición y colocación del sustrato y mayores riesgos de colmatación del mismo (Salas et al, 2007).

En el caso del Parque Ambiental Santo Domingo, estas ventajas son decisivas en la escogencia del sistema de tratamiento, ya que la topografía del lugar condiciona la adecuación de grandes zonas para tal fin y por otro lado, al tratarse de un parque de libre acceso, el tema de control de proliferación de plagas es fundamental. Por otro lado, los humedales de flujo subsuperficial, presentan un mayor rendimiento de depuración.

### Datos generales

Numero de viviendas	66
Personas por vivienda	4
Poblacion	264
Consumo lt/dia/persona	166
Total de vertimientos lt/dia	43824

Datos de partida		
Población, proyectada	hab.	264
Habitantes equivalentes, hab-eq	hab-eq	155,848
Dotación teórica, d	l/hab.d	166
Caudal medio diario, $Q_{md}=p \cdot d/1000$	$m^3/d$	29,04
	L/s	0,33572
Concentración de $DBO_5$	mg/L	322

29006 L/d

Datos aportados  
 Valores calculados

Caudal medio de diseño, $Q_{md}$	29,04	$m^3/d$
Caudal máximo diario, $Q_{max d}$	72,6	$m^3/d$
Concentración de $DBO_5$	322	mg/L
Materia en suspensión, MES	120	mg/L

Temperatura del agua en invierno, °C	20	°C
Temperatura del agua en verano, °C	24	°C

Objetivo de calidad	90%
Efluente requerido	15

Figura 58: Tabla de Calculo humedal artificial 1. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost

### Dimensionamiento biológico

% eliminación DBO<sub>5</sub>

% eliminación MES

$$S = \frac{Q_{med} \cdot \ln(C_o; C_e)}{K_T \cdot h \cdot p_s}$$

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Según Brix (1994):

para Co = 30 - 450 mg/L

para Co = 50 - 500 mg/L

para Ch = 0.02 - 0.2 m/d

$k_T \cdot n \cdot h = k$

$k_{DBO} =$

0.10 - 0.20

$k_{MES} =$

0.10 - 0.20

### Dimensionamiento hidráulico

$C_{DBO_a} =$  322mg/L

$C_{MES_a} =$  120mg/L

$As_{DBO} =$  445m<sup>2</sup>

500

$As_{MES} =$  179m<sup>2</sup>

Comprobar carga orgánica superficial < 15 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.d

$q = (Q_{med} \cdot C_{DBO_a})/As$

18,7

S: área superficial del humedal, m<sup>2</sup>

Ce: concentración de contaminantes en el efluente, mg/L

Co: concentración de contaminantes en el afluente, mg/L

$k_T$ : constante de degradación en función de la temperatura, (m/año)

$k_{20}$ : constante de degradación para una temperatura de 20°, (m/año)

$\theta$ : 1.06

Ch: carga hidráulica aplicada por unidad de área del Biofiltro, (28 - 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.año)

$p_s$ : porosidad del medio granular en fracción decimal, (40 - 60% recomendado)

h: Profundidad del humedal

403m<sup>2</sup>

15

1,104

0

1,104

30

0,4

0,5

Figura 59: Tabla de Calculo humedal artificial 1. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost



$$Q_{med} = K_s \cdot A_c \cdot i$$

Ac: Area de la sección transversal efectiva del lecho, (m2)

Q: Caudal promedio de aguas residuales, (m3/d)

Ks: Conductividad hidráulica del lecho filtrante, (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d) (≤ 1/3 a 1/5 Ks)

i: Pendiente hidráulica del lecho, (0.01 - 0.02 m/m, recomendado)

w: ancho de una celda del humedal

y: profundidad del agua en el humedal, (0.6 - 0.8 m, recomendado)

R<sub>L:A</sub>: relación Largo:Ancho (1:1 - 5:1) (ancho > longitud)

n: número de celdas del humedal

A<sub>T</sub> = 10 m<sup>2</sup>  
 ks = 100 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d)

w<sub>min</sub> = 24 m

w<sub>asumido</sub> = 0,9 m

L = 131 m

L:w = 0,0

0,01

0,4m

1,5

3

Tiempo de retención hidráulico, TRH (3 - 5 días)

$$TRH = \frac{p_s \cdot S \cdot h}{Q}$$

TRH = 1,95 d

### Arenas

Características de los medios granulares usados en los humedales construidos de flujo subsuperficial.			
Material	Tamaño efectivo, D <sub>10</sub> en mm	Porosidad, en %	Conductividad Hidráulica, k <sub>s</sub> en m/d
Arenas gradadas	2	28 - 32	100 - 1000
Arenas gravosas	8	30 - 35	500 - 5000
Gravas Finas	16	35 - 38	1000 - 10000
Gravas medianas	32	36 - 40	10000 - 50000
Rocas pequeñas	128	38 - 45	50000 - 250000

Figura 60: Tabla de Calculo humedal artificial 1. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost

## Calculo humedal subsuperficial de flujo horizontal subcuenca 2

### Datos generales

Numero de viviendas	104
Personas por vivienda	4
Poblacion	416
Consumo lt/dia/persona	166
Total de vertimientos lt/dia	69056

### Datos de partida

Población, proyectada	hab.	416
Habitantes equivalentes, hab-eq	hab-eq	245,5787
Dotación teórica, d	l/hab.d	166
Caudal medio diario, $Q_{md}=p*d/1000$	$m^3/d$	45,76
	L/s	0,529017
Concentración de $DBO_5$	mg/L	322

Datos aportados  
 valores calculados

45707 L/d

Caudal medio de diseño, $Q_{md}$	45,76	$m^3/d$
Caudal máximo diario, $Q_{max d}$	114,4	$m^3/d$
Concentración de $DBO_5$	322	mg/L
Materia en suspensión, MES	120	mg/L

Temperatura del agua en invierno, °C	20	°C
Temperatura del agua en verano, °C	24	°C

Objetivo de calidad	90%
Efluente requerido	15

Figura 61: Tabla de Calculo humedal artificial 2. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost

Dimensionamiento biológico

% eliminación DBO<sub>5</sub>

% eliminación MES

C<sub>DBO\_a</sub> = 322 mg/L

C<sub>MES\_a</sub> = 120 mg/L

$$S = \frac{Q_{med} \cdot \ln(C_o : C_e)}{K_T \cdot h \cdot p_s}$$

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Según Brix (1994):

k<sub>T</sub> \* n \* h = k

para Co = 30 - 450 mg/L k<sub>DBO</sub> = 0.10 - 0.20 0,2m/d

para Co = 50 - 500 mg/L k<sub>MES</sub> = 0,2m/d

para Ch = 0.02 - 0.2 m/d

As\_DBO = 702 m<sup>2</sup>

1000

As\_MES = 282 m<sup>2</sup>

Comprobar carga orgánica superficial < 15 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.d

q = (Q<sub>med</sub> \* C<sub>DBO\_a</sub>)/As 14,7347

S: área superficial del humedal, m<sup>2</sup> 636 m<sup>2</sup>

Ce: concentración de contaminantes en el efluente, mg/L 15

Co: concentración de contaminantes en el afluente, mg/L

k<sub>T</sub>: constante de degradación en función de la temperatura, (m/año) 1,1040

k<sub>20</sub>: constante de degradación para una temperatura de 20°, (m/año) 1,104

θ: 1.06

Ch: carga hidráulica aplicada por unidad de área del Biofiltro, (28 - 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.año) 30

p<sub>s</sub>: porosidad del medio granular en fracción decimal, (40 - 60% recomendado) 0,4

h: Profundidad del humedal 0,5

Figura 62: Tabla de Calculo humedal artificial 2. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost

Dimensionamiento hidráulico

$$Q_{med} = K_s \cdot A_c \cdot i$$

$A_c$ : Area de la sección transversal efectiva del lecho, (m<sup>2</sup>)

$Q$ : Caudal promedio de aguas residuales, (m<sup>3</sup>/d)

$K_s$ : Conductividad hidráulica del lecho filtrante, (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d) ( $\leq 1/3$  a  $1/5$   $K_s$ )

$K_s$ )

$i$ : Pendiente hidráulica del lecho, (0.01 - 0.02 m/m, recomendado)

$w$ : ancho de una celda del humedal

$y$ : profundidad del agua en el humedal, (0.6 - 0.8 m, recomendado)

$R_{L,A}$ : relación Largo:Ancho (1:1 - 5:1) (ancho > longitud)

$n$ : número de celdas del humedal

0,01  
0,4m  
1,5  
4

$A_T = 11 \text{ m}^2$   
(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d)  
 $k_s = 100$   
 $W_{min} = 29 \text{ m}$   
 $W_{asumido} = 0,9 \text{ m}$   
 $L = 155 \text{ m}$   
 $L:w = 0,0$

Tiempo de retención hidráulico, TRH (3 - 5 días)

$$TRH = \frac{p_s \cdot S \cdot h}{Q}$$

TRH = 1,95

Arenas

Características de los medios granulares usados en los humedales construidos de flujo subsuperficial.

Material	Tamaño efectivo, $D_{10}$ en mm	Porosidad, en %	Conductividad Hidráulica, $k_s$ en m/d
Arenas gradadas	2	28 - 32	100 - 1000
Arenas gravosas	8	30 - 35	500 - 5000
Gravas Finas	16	35 - 38	1000 - 10000
Gravas medianas	32	36 - 40	10000 - 50000
Rocas pequeñas	128	38 - 45	50000 - 250000

Figura 63: Tabla de Calculo humedal artificial 2. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost

### Calculo humedal subsuperficial de flujo horizontal subcuenca 3

#### Datos generales

Numero de viviendas	47
Personas por vivienda	4
Poblacion	188
Consumo lt/dia/persona	166
Total de vertimientos lt/dia	31208

Datos de partida		
Población, proyectada	hab.	188
Habitantes equivalentes, hab-eq	hab-eq	110,982667
Dotación teórica, d	l/hab.d	166
Caudal medio diario, $Q_{md}=p*d/1000$	m <sup>3</sup> /d	20,68
	L/s	0,23907514
Concentración de DBO <sub>5</sub>	mg/L	322

Datos aportados  
 Valores calculados

20656 L/d

Caudal medio de diseño, $Q_{md}$	20,68 m <sup>3</sup> /d
Caudal máximo diario, $Q_{max d}$	51,7 m <sup>3</sup> /d
Concentración de DBO <sub>5</sub>	322 mg/L
Materia en suspensión, MES	120 mg/L

Temperatura del agua en invierno, °C	20 °C
Temperatura del agua en verano, °C	24 °C

Objetivo de calidad	90%
Efluente requerido	15

Figura 64: Tabla de Calculo humedal artificial 3. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost

### Dimensionamiento biológico

% eliminación DBO<sub>5</sub>

$$C_{\text{DBO}_a} = 322 \text{ mg/L}$$

% eliminación MES

$$C_{\text{MES}_a} = 120 \text{ mg/L}$$

$$S = \frac{Q_{\text{med}} \cdot \ln(C_o : C_e)}{K_T \cdot h \cdot p_s}$$

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Según Brix (1994):

$$k_T \cdot n \cdot h = k$$

para Co = 30 - 450 mg/L  $k_{\text{DBO}} = 0.10 - 0.20$  0,2 m/d

para Co = 50 - 500 mg/L  $k_{\text{MES}} =$  0,2 m/d

para Ch = 0.02 - 0.2 m/d

$$A_s_{\text{DBO}} = 317 \text{ m}^2 \quad 500$$

$$A_s_{\text{MES}} = 127 \text{ m}^2$$

Comprobar carga orgánica superficial < 15 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.d

$$q = (Q_{\text{med}} \cdot C_{\text{DBO}_a}) / A_s \quad 13,32$$

S: área superficial del humedal, m<sup>2</sup>

287 m<sup>2</sup>

Ce: concentración de contaminantes en el efluente, mg/L

15

Co: concentración de contaminantes en el afluente, mg/L

k<sub>T</sub>: constante de degradación en función de la temperatura, (m/año)

1,1040

k<sub>20</sub>: constante de degradación para una temperatura de 20°, (m/año)

1,104

θ: 1.06

Ch: carga hidráulica aplicada por unidad de área del Biofiltro, (28 - 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.año)

30

p<sub>s</sub>: porosidad del medio granular en fracción decimal, (40 - 60% recomendado)

0,4

h: Profundidad del humedal

0,5

Figura 65: Tabla de Calculo humedal artificial 3 Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost



### Dimensionamiento hidráulico

$$Q_{med} = K_s \cdot A_c \cdot i$$

Ac: Area de la sección transversal efectiva del lecho, (m<sup>2</sup>)

Q: Caudal promedio de aguas residuales, (m<sup>3</sup>/d)

Ks: Conductividad hidráulica del lecho filtrante, (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d) ( $\leq 1/3$  a  $1/5$  Ks)

i: Pendiente hidráulica del lecho, (0.01 - 0.02 m/m, recomendado)

w: ancho de una celda del humedal

y: profundidad del agua en el humedal, (0.6 - 0.8 m, recomendado)

R<sub>L:A</sub>: relación Largo:Ancho (1:1 - 5:1) (ancho > longitud)

n: número de celdas del humedal

0,01

0,4m

1,5

2

A<sub>T</sub> = 10m<sup>2</sup>

k<sub>s</sub> = 100(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d)

w<sub>min</sub> = 28m

w<sub>asumido</sub> = 0,9m

L = 140m

L:w = 0,0

Tiempo de retención hidráulico, TRH (3 - 5 días)

$$TRH = \frac{p_s \cdot S \cdot h}{Q}$$

TRH = 1,95d

Arenas

Características de los medios granulares usados en los humedales construidos de flujo subsuperficial.			
Material	Tamaño efectivo, D <sub>10</sub> en mm	Porosidad, en %	Conductividad Hidráulica, k <sub>s</sub> en m/d
Arenas gradadas	2	28 - 32	100 - 1000
Arenas gravosas	8	30 - 35	500 - 5000
Gravas Finas	16	35 - 38	1000 - 10000
Gravas medianas	32	36 - 40	10000 - 50000
Rocas pequeñas	128	38 - 45	50000 - 250000

Figura 66: : Tabla de Calculo humedal artificial 3. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost

## Sección transversal humedales artificiales Parque Ambiental Santo Domingo

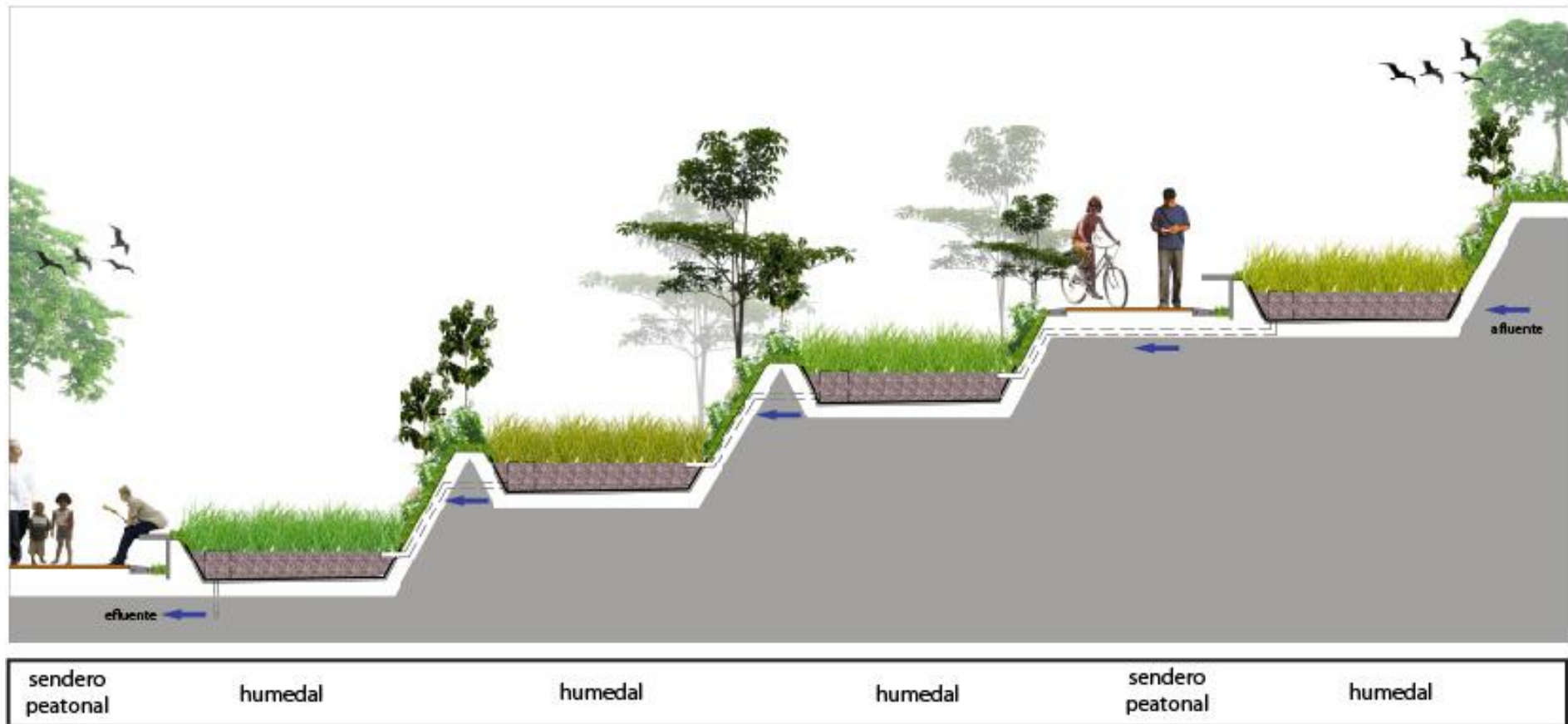


Figura 67: Sección Transversal humedales artificiales de flujo subsuperficial subcuenca 2. Fuente: Elaboración Propia

## Sección longitudinal humedales artificiales - Parque Ambinetal Santo Domingo

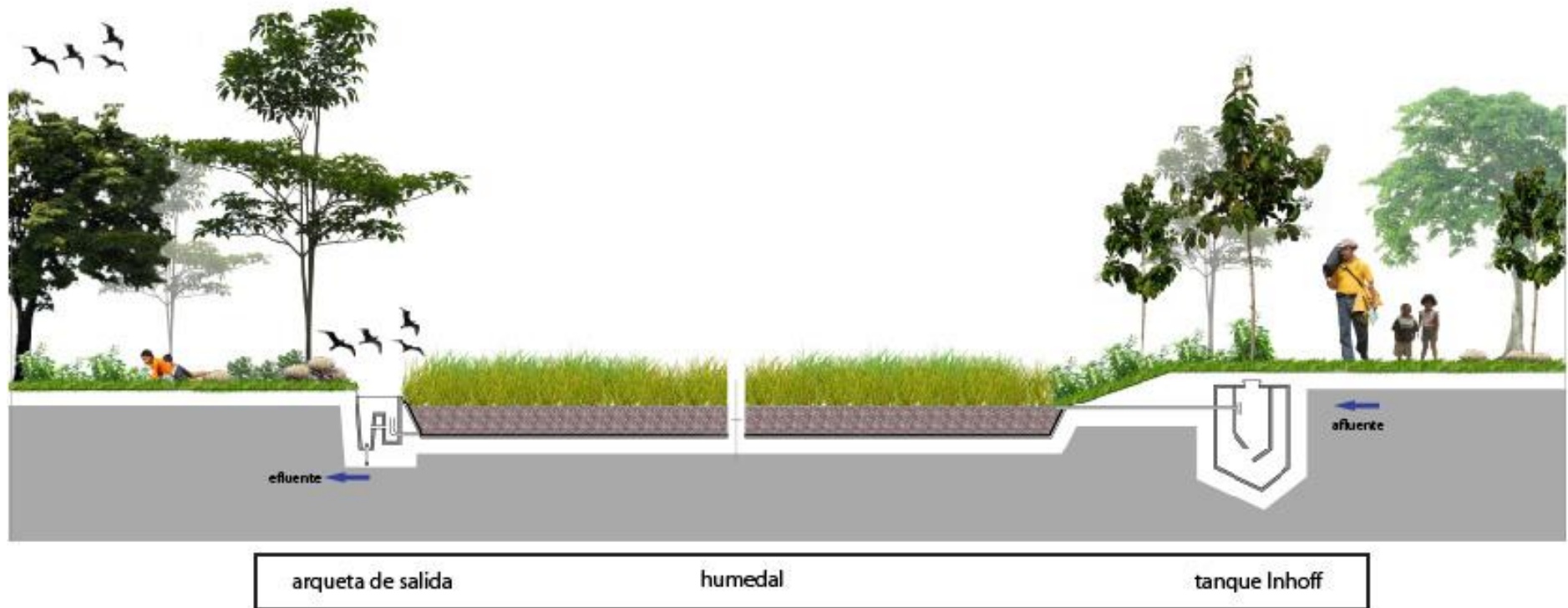


Figura 68: Sección longitudinal de humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal. Fuente: Elaboración propia



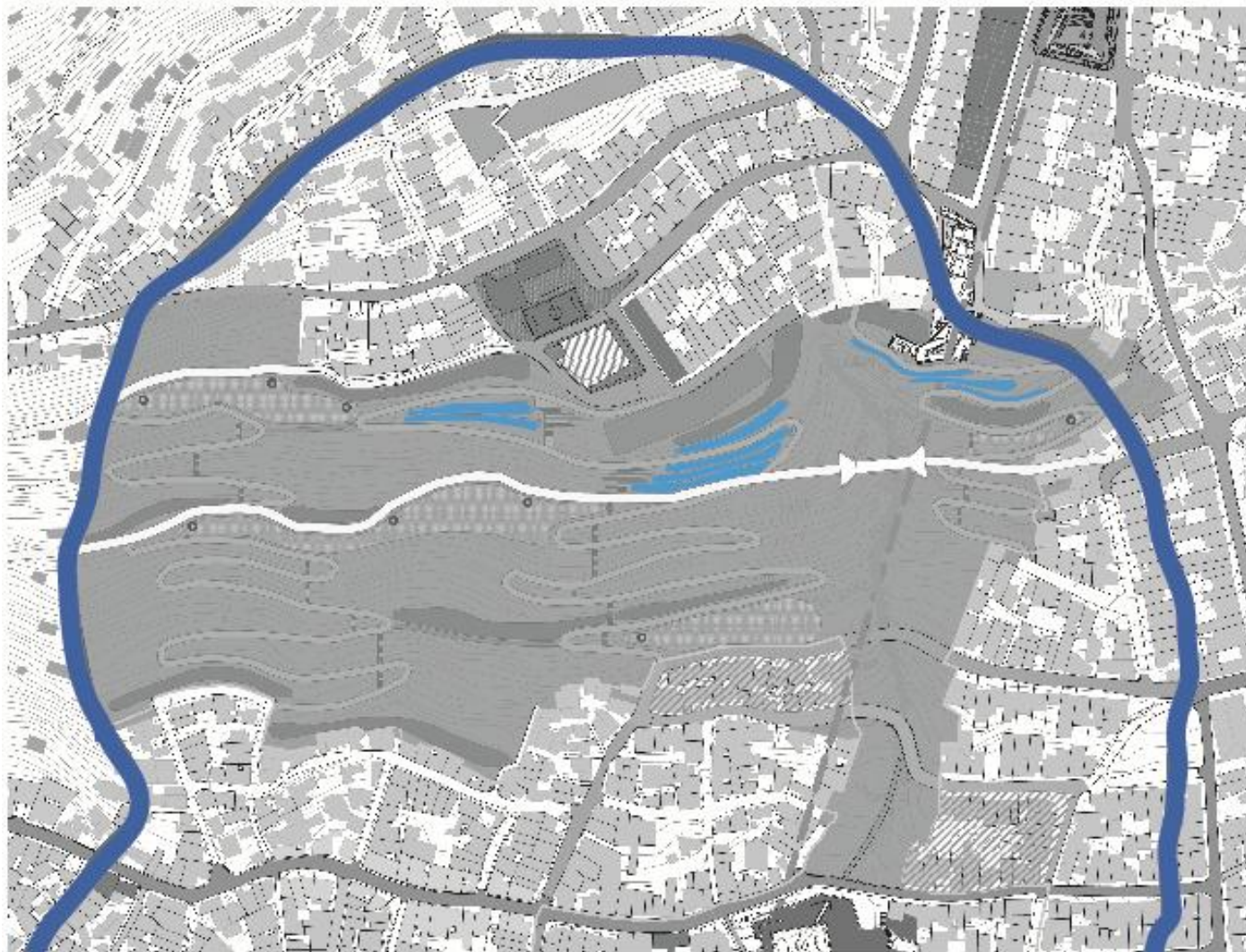


Figura 69: Propuesta humedales construidos Parque Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia



Figura 70: Ejemplos de humedales artificiales subsuperficiales vinculados a espacio urbano. Shanghai Houtan Park. Fuente: [www.turenscape.com](http://www.turenscape.com)

## 2.8. Estrategias para gestionar el balance hidrico

### 2.8.1. Zonas de bioretencion

La impermeabilidad del suelo ocasionado por el crecimiento urbano provoca un aumento considerable de los escurrimientos pluviales, generando inundaciones, obsolescencia de los sistemas de drenaje y en ocasiones procesos erosivos debido a la velocidad de las aguas superficiales sobre el terreno.

El desarrollo de nuevas actividades urbanas provoca cambios que, desde el punto de vista hidrológico, se traducen en una modificación importante de los cauces naturales de drenaje, la pérdida de capacidad de infiltración de los suelos, la disminución del almacenamiento superficial y el aumento de contaminantes en el agua (Burgos, 2010).

Como se aprecia en la figura 69, en el caso de la Microcuenca La Herrera, el crecimiento informal ocasiono la impermeabilidad de un altísimo porcentaje del suelo, patrón que no es diferente en la parte alta de la misma.

En el caso del cerro (área de intervención del proyecto), esta situación es bastante compleja, debido a que la impermeabilidad en la parte superior (centralidad Santo Domingo) genera altos volúmenes de escorrentía que conducidos por la topografía, escurren sobre la parte media del cerro, el cual presenta altas pendientes, (superiores al 60%) y tendencia a la colmatación del suelo, lo cual degenera en riesgo de deslizamientos.

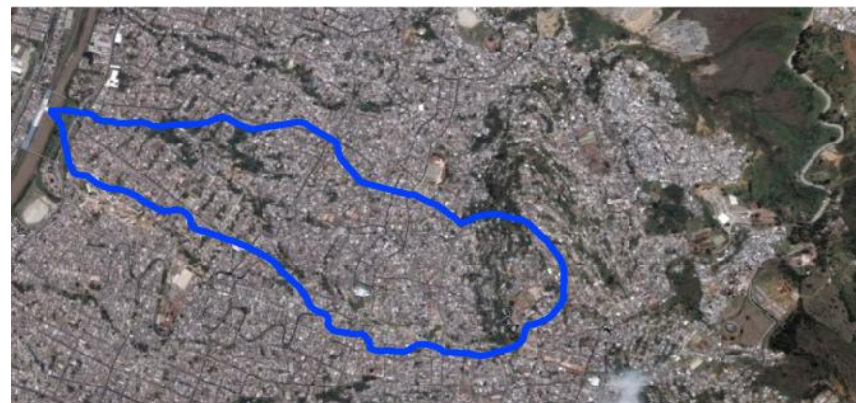


Figura 71: Estado de impermeabilización del suelo en la microcuenca La Herrera.  
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, esta agua de escorrentía al entrar en contacto con tejados, vías y otros elementos urbanos, queda expuesta a la contaminación difusa, generando contaminación del suelo sobre la parte media del cerro.

Como ya se menciono en el apartado 2.7.1 (Sistema de alcantarillado separativo), la imposibilidad de conectar la parte alta de la microcuenca a la red de drenaje de la ciudad, hace recurrir a la implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), como solución a dichos problemas, buscando una correcta y controlada gestión del agua de escorrentía, cuyo primer condicionante es la colmatación del suelo.



Dentro de las tecnologías SUDS se encuentran las zonas de bioretención como una excelente alternativa para gestionar el agua de escorrentía. Para esto, es necesario conducir dichas aguas ya sea por medio superficial o a través del sistema de drenaje urbano, hasta las zonas donde se hará la gestión. Los sistemas de bioretención son una forma integral de gestionar las aguas pluviales mediante sistemas de filtración. Esta tecnología se basa en las características biológicas y físicas de los bosques de montaña o ecosistemas de pradera, que utilizan la vegetación, como árboles, arbustos y hierbas para tal fin.

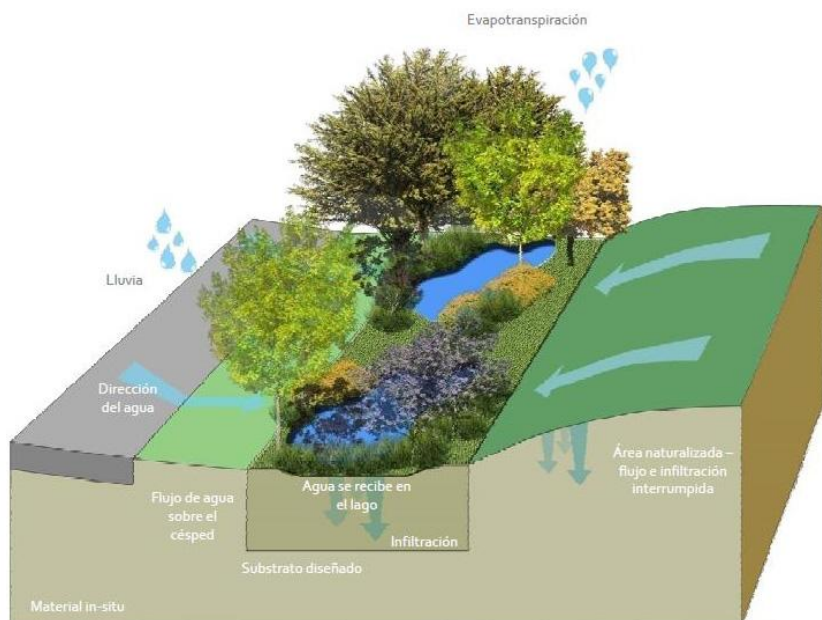


Figura 73: Esquema de zonas de Bioretención. Fuente: [http://espaciointerior1.blogspot.com.es/2011\\_08\\_01\\_archive.html](http://espaciointerior1.blogspot.com.es/2011_08_01_archive.html) agosto 2011.

La implementación de estas zonas en el proyecto se basa en dos estrategias. La primera la gestión del agua de escorrentía de la parte superior del cerro (centralidad Santo Domingo) mediante la conducción de las aguas pluviales por el sistema de drenaje propuesto en el apartado 2.7.1 hasta las zonas de bioretención. La segunda estrategia es la gestión de las aguas de escorrentía de la parte media del cerro (área natural). En ambas estrategias el fin último es retener temporalmente el agua de escorrentía, con el objetivo de disminuir su velocidad y someterla a un proceso de filtración que atrape las grasas y los metales pesados para posteriormente ser almacenada en unos puntos estratégicos con fines de aprovechamiento o vertido al cauce de la quebrada, ayudando a minimizar la erosión y colmatación sobre la parte media del cerro y el impacto hidráulico aguas abajo de la quebrada.



Figura 72: Sistema de bioretención. Fuente: *Concept Design Guidelines for Water Sensitive Urban Design (Water by Design, 2009)*

Para calcular el área de las zonas de bioretención utilizamos la referencia del water sensitive urban design, que establece que estas áreas deben tener un tamaño entre el 2% y el 3% de la cuenca contribuyente.

Para la gestión de la escorrentía de la parte superior del cerro (Centralidad Santo Domingo) nos basamos en el área de las subcuencas urbanas determinadas por el sistema de alcantarillado propuesto en el apartado 2.7.1 de este capítulo, (Ver figura 54). En la siguiente tabla podemos observar las áreas requeridas para gestionar el agua de escorrentía de esta parte del cerro.

Subcuenca	Area (m2)	Area requerida para bioretencion (m2)
1	9294,54	278,84
2	20087,17	602,62
3	9208,7	276,26

Figura 74: Áreas necesarias para zonas de bioretención parte superior del cerro. Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el área de las zonas de retención de la parte media del cerro, es necesario determinar las subcuencas de aporte. En este caso es necesario primero determinar las circulaciones del parque ya que estas fraccionan el territorio condicionando el límite de las subcuencas. Estas

circulaciones, a su vez están condicionadas por la topografía del cerro, que para lograr salvar la diferencia de altura, requieren de largas extensiones en forma serpenteante. Ver figura 76.

En el caso del parque esta tipología de circulación genera muchas subcuencas de pequeño tamaño entre los diferentes niveles de la circulación. Esta particularidad representa una oportunidad para gestionar el agua en gran parte del cerro, ya que las unidades de gestión son menores por lo cual también lo serán los volúmenes de agua de escorrentía asociadas a estas unidades. Ver figura 76.

De esta manera la propia circulación se convierte en un elemento propositivo, pues además de servir a la accesibilidad del parque, es en sí misma un dren filtrante que ayuda a retener y conducir la escorrentía.

Al definir las circulaciones y las subcuencas a asociadas a estas, se observan también unas áreas que quedan fuera de esta estrategia de gestión, para las cuales se plantea y calcula otras áreas de bioretención adicionales. Ver figura 78.

Subcuenca	Area (m2)	Area requerida para bioretencion (m2)
4	3310,2	99,31
5	3062,84	91,89
6	5286,61	158,60
7	5137,88	154,14

Figura 75: Áreas necesarias para zonas de bioretención parte media del cerro. Fuente: Elaboración propia.

## Plano de Subcuencas y zonas bioretencion parte superior del cerro



Figura 76: áreas de bioretención para tratamiento de la escorrentía de la parte superior del cerro. Fuente: Elaboración propia



## Sección longitudinal zonas de bioretención Parque Ambiental Santo Domingo

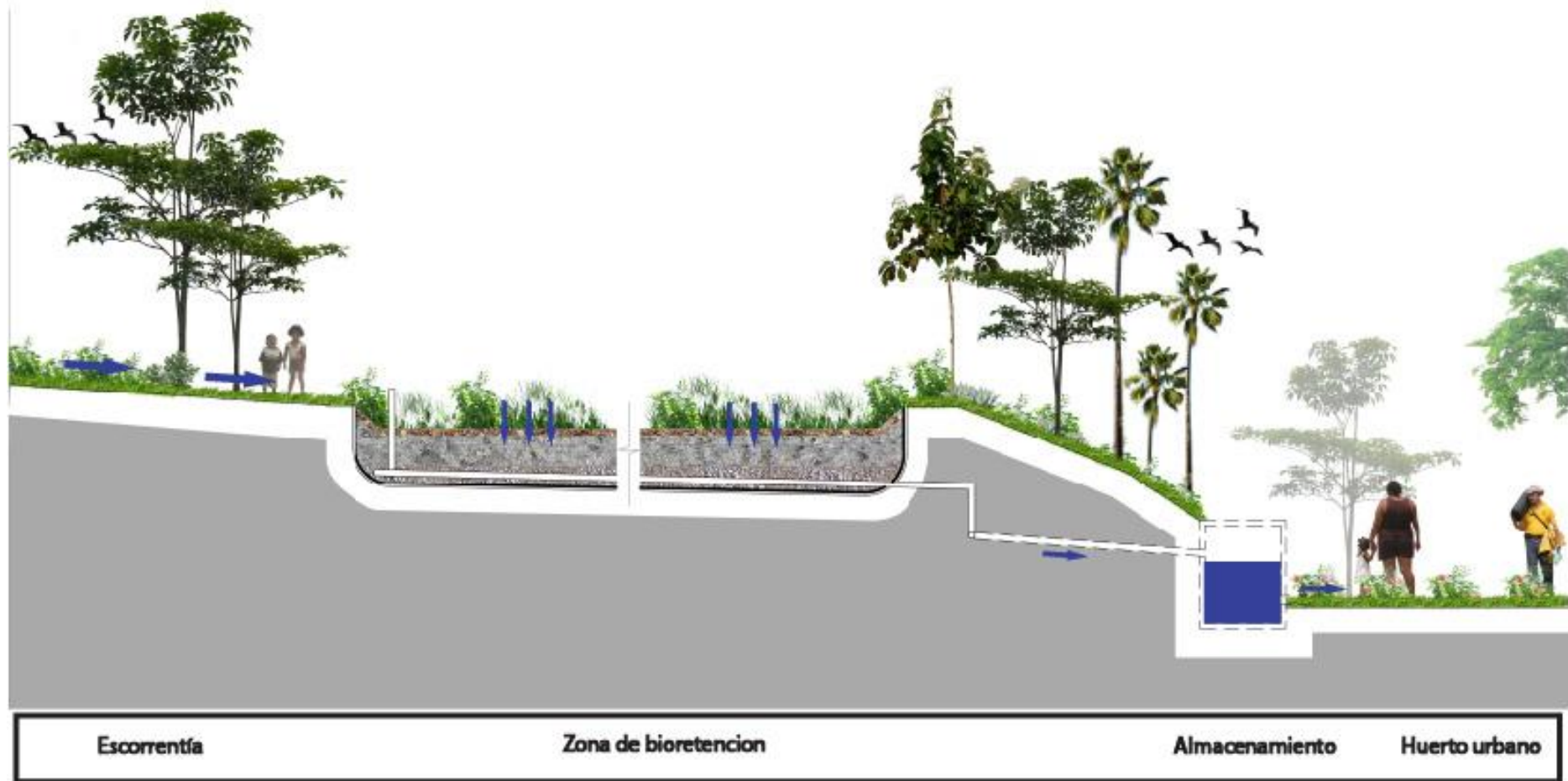


Figura 77: Sección longitudinal zonas de bioretención. Fuente: Elaboración propia

## Plano de circulaciones ó Drenes Filtrantes



Figura 78: Plano de subcuencas y circulaciones como drenes filtrantes. Fuente: Elaboración propia.



### Cálculo de Drenes Filtrantes

Para calcular la capacidad de retención del Dren Filtrante se establece una unidad promedio que esta definida por una franja de 1 metro de ancho que abarca tanto el camino como la cuenca aportante. Ver figura 77.

El área resultante para la cuenca aportante es de 10,35m<sup>2</sup> y el área resultante para el camino es de 3,00m<sup>2</sup>. Posteriormente para el cálculo de la escorrentía ambas áreas deberán convertirse a hectáreas.

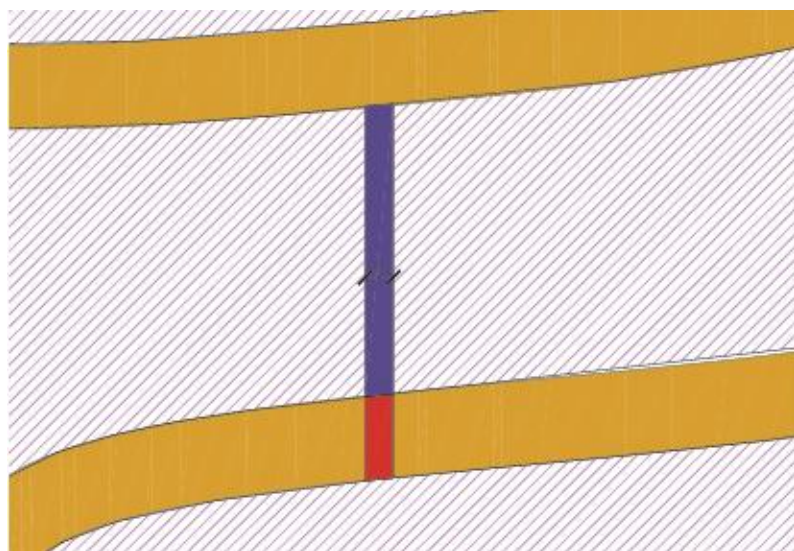


Figura 79: Definición del área para cálculo del Dren Filtrante. Fuente: Elaboración propia

La metodología utilizada para realizar el cálculo es la siguiente:

En primer lugar se calcula por medio del método racional el volumen de agua de escorrentía que genera la cuenca aportante. Para esto se maneja un coeficiente de escorrentía de 0,5, definido por un tipo de suelo semipermeable con vegetación y una pendiente superior al 50%. Este cálculo sirve para determinar el volumen de escorrentía que llega desde la cuenca aportante hasta el camino ó Dren Filtrante, en un evento de lluvia promedio. El cálculo da como resultado un volumen de 0,1m<sup>3</sup>. Ver figura 78.

La cantidad de agua que se infiltra al camino corresponde a sumar el agua lluvia que cae directamente sobre su superficie mas el volumen de agua que aporta la cuenca aportante. El cálculo da como resultado un volumen de 0,104m<sup>3</sup>. Ver grafica 79.

Teniendo el dato del agua que se infiltra en el camino, se calcula la capacidad de retención del Dren Filtrante, el cual esta dado por la porosidad de la grava que en este caso es de 0,4 multiplicado por el volumen del Dren . En este caso el cálculo dio como resultado una capacidad de retención de 0,28m<sup>3</sup>. Ver figura 80.

Teniendo en cuenta que el camino tiene una pendiente del 4%, lo cual genera que un volumen de agua no pueda infiltrarse y pase a convertirse en escorrentía, se procede a calular este volumen con el fin de gestionarlo por medio de canales laterales. Ver figura 81.

**Cálculo de escorrentía por el Método Racional**

Coefficiente de escorrentía	Intensidad de precipitación (mm/h)	Area (ha)	Caudal pico (m3/s)	m3 de agua en evento de lluvia(40 min)
-----------------------------	------------------------------------	-----------	--------------------	--

Cuenca aportante	0,5	30	0,001	0,0000417	<b>0,1</b>
Camino	0,35	30	0,0003	0,00000875	0,021

Coefficiente de infiltración	Intensidad de precipitación (mm/h)	Area (ha)	Caudal pico (m3/s)	m3 de agua en evento de lluvia(40 min)
------------------------------	------------------------------------	-----------	--------------------	--

Cuenca aportante	0,5	30	0,001	0,0000417	0,1
Camino	0,65	30	0,0003	0,00001625	<b>0,039</b>

Figura 81: Calculo volumen de agua de escorrentía y agua infiltrada en la cuenca aportante y en el camino en un evento de lluvia promedio. Fuente: Elaboración propia.

**Volumen de agua infiltrada en el camino (0,65 coeficiente infiltración)**

Agua de la cuenca aportante	0,065
Agua propia camino	0,039
	<b>0,104</b>

Figura 80: Volumen de agua infiltrado en el camino ó Dren. Fuente: Elaboración propia

**Camino filtrante**

Volumen m3 (2m*1m*0,3m)	0,7
Porosidad Grava mediana	0,4

<b>Capacidad de retencion m3</b>	<b>0,28</b>
----------------------------------	-------------

Figura 82: Volumen de agua capaz de ser retenida por el Dren. Fuente: Elaboración propia.

**Volumen de agua escorrentía**

Camino	0,021
cuenca aportante	0,035
	<b>0,056</b>

Figura 83: Volumen de agua que debe ser gestionado por medio de canaletas laterales. Fuente: Elaboración propia.

### Sección de senderos peatonales ó Drenes Filtrantes

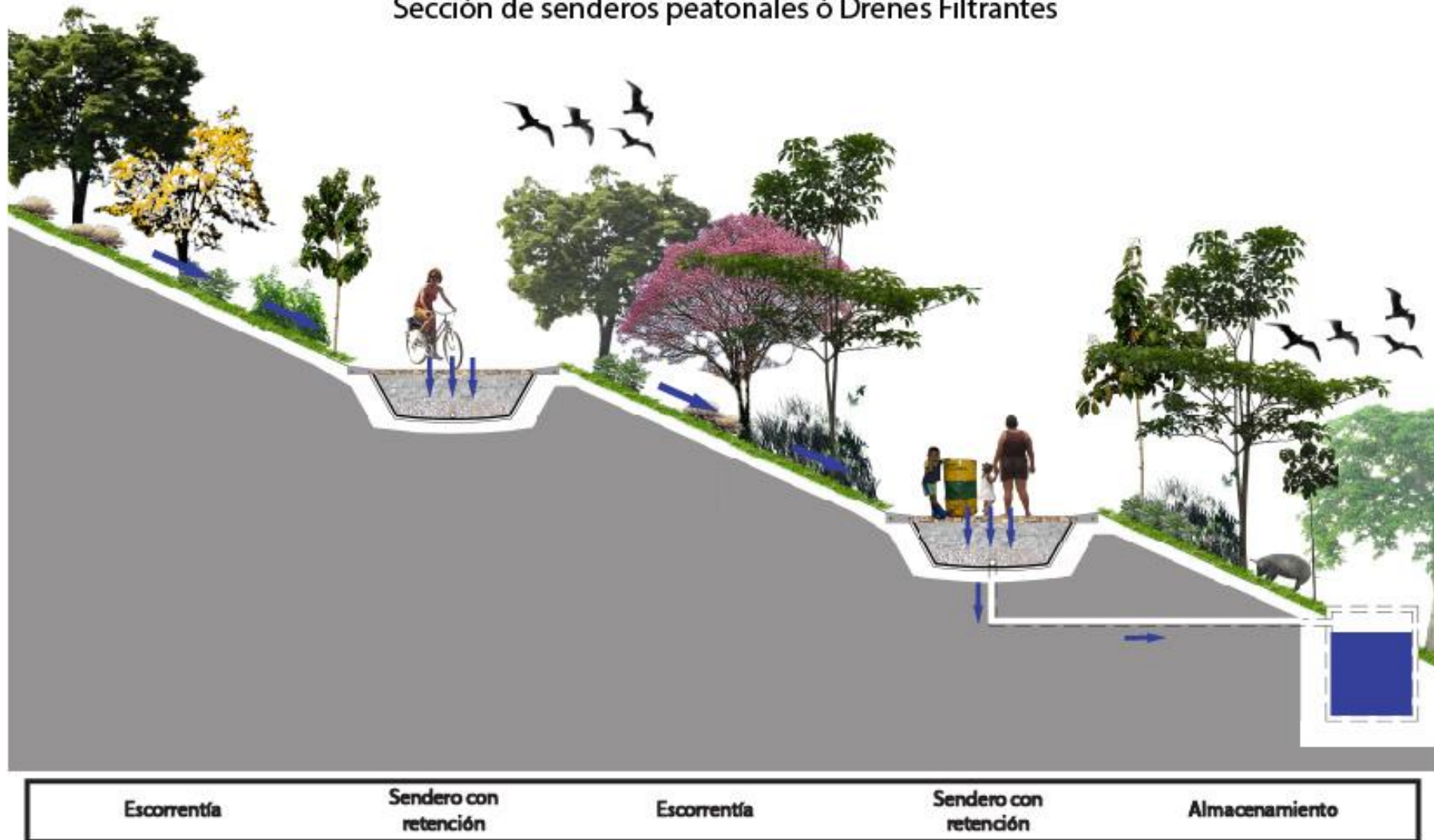


Figura 84: Sistema Drenes Filtrantes en senderos peatonales. Fuente: Elaboración propia



## Plano zonas de bioretención parte media del cerro

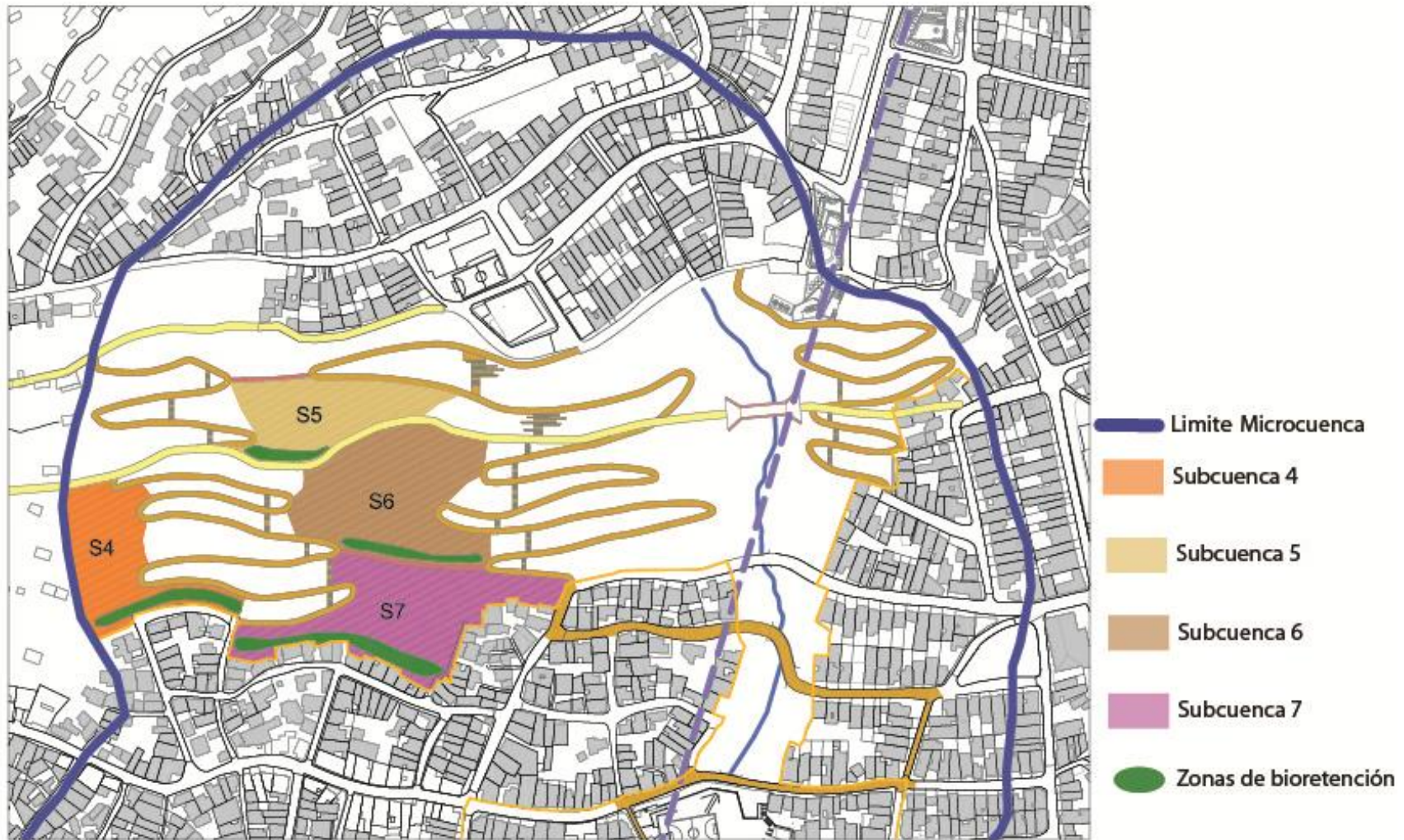


Figura 85. Plano de subcuencas y zonas de bioretención parte media del cerro. Fuente: Elaboración propia.



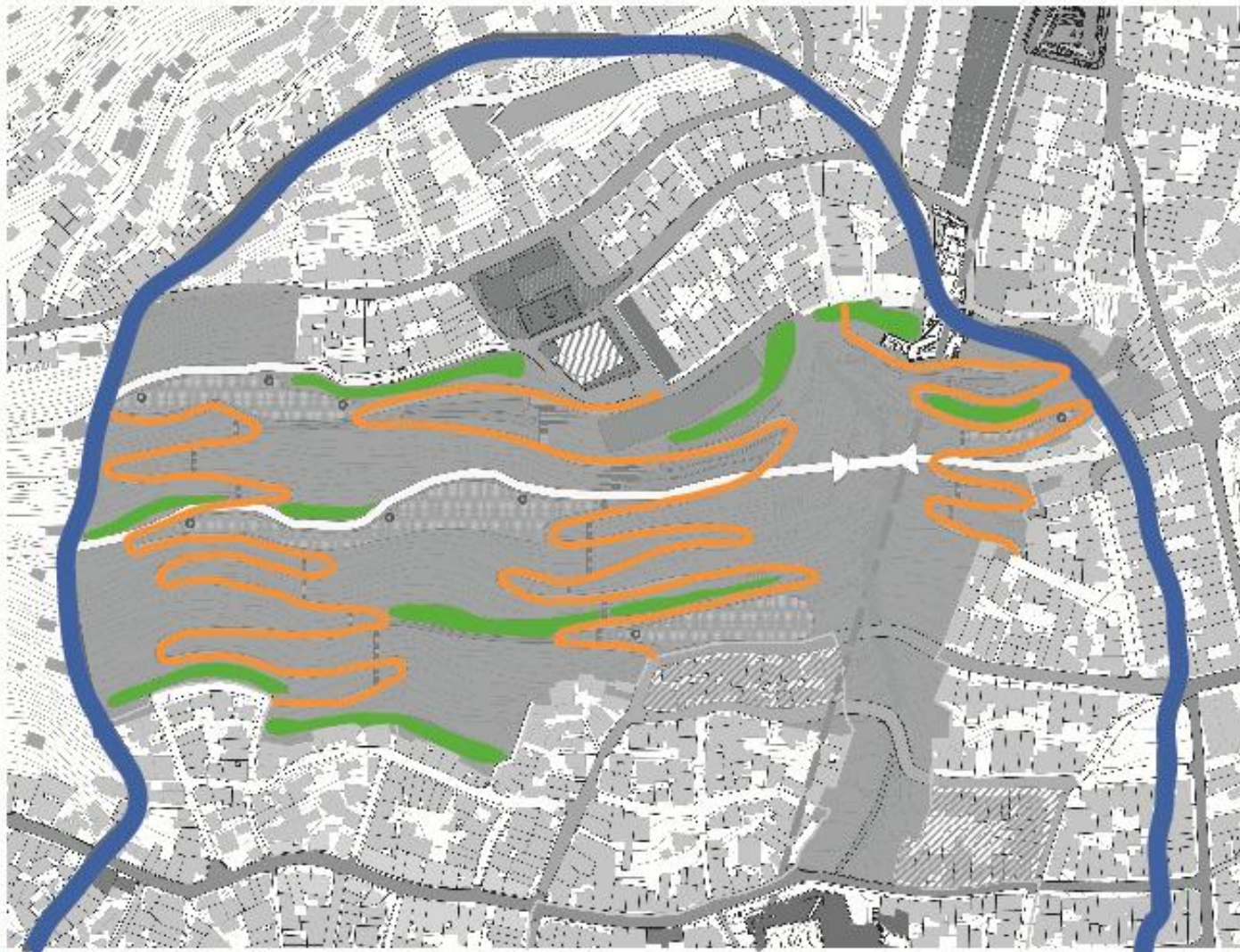


Figura 86: Propuesta sistemas de bioretención y drenes filtrantes. Fuente: Elaboración propia.



Figura 87: Ejemplos zonas de bioretención. Fuente: Water Sensitive Urban Design (Water by Design, 2009)



### 2.8.2. Buffer strips

Después de haber implementado la estrategia de bioretención para el control de escorrentía y contaminación difusa en el parque, podemos observar en la figura 84, que el cauce de la quebrada, no queda cubierto con este tipo de estrategia, debido a que esta zona, está contemplado como retiro obligatorio o área de inundación según el POT. Se establece que esta franja debe ser de 15 mts de ancho a cada lado, en la cual se prohíbe llevar a cabo cualquier tipo de intervención que requiera movimientos de tierra.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone para esta zona como estrategia de control de escorrentía y control de contaminación difusa, una franja de protección o buffer strips, que ayuden a gestionar y controlar la calidad y la cantidad de agua en la quebrada.

Los Buffer strips son elementos importantes para la calidad y cantidad del agua, la estabilidad de márgenes y el hábitat de peces y otras especies (Hansen, 1992; Gordon 1993; White 1993).

Estas franjas de protección, favorecen la sedimentación de las partículas del suelo, restringiendo el flujo de la escorrentía superficial y el aumento de la tasa de infiltración del agua ( Williams, 1993; Forster y abraham 1985).

Por otro lado, y como se muestra en la figura 105, el parque cuenta con un sistema de huertos urbanos ecológicos, que hacen parte de un conjunto de servicios ecosistémicos. Estos huertos aunque desarrollan procesos ecológicos, son una fuente de contaminación del agua principalmente por presencia fosforo, procedente de la descomposición de residuos orgánicos,

razón por la cual se debe proteger el cauce para impedir procesos de contaminación.

La presencia de cantidades excesivas de fósforo es a menudo responsable de la eutrofización de los cursos de agua. En condiciones normales, el fósforo se adhiere rápidamente a las partículas del suelo y se transporta a la corriente a través de sedimentos erosionados. A medida que el área de amortiguamiento promueve la deposición de sedimentos, se reducirá la transferencia de partículas de suelo con fosforo desde el campo hasta el cauce del río (Blanco 1993).

Como se muestra en la figura 86, mediante áreas de 19 mts de vegetación se ha demostrado que es posible eliminar hasta el 58% del fósforo disuelto (Dillaha et al. 1985).

Effectiveness\* of a 19 m vegetated buffer

Contaminant	Reduction level (%)
Suspended particles	89.7 %
Nitrate-Nitrogen	60.4 %
Total-Phosphorus	73.7 %
Dissolved-Phosphorus	58.1 %
Organic-Carbon	59.9 %

Figura 88: Eficiencia de una franja vegetal de 19 mts. Fuente: (PeterJonh and Correll, 1984)

Otras de las razones para la implementación de las franjas de protección en el proyecto es la necesidad de estabilizar las márgenes de la quebrada. Por otro lado, es de vital importancia para su conservación, restaurar la orilla con el fin de proteger el medio acuático, propiciando una cubierta adecuada para la fauna silvestre, lo cual mejorara la calidad del agua y aumentara su valor como hábitat.

Los Buffer strips ayudan a disipar la energía erosiva del flujo del agua, mientras que la masa de raíces mejora la cohesión del suelo reforzando el terraplén contra el efecto erosivo del agua (Carlson et al., 1992). Las distintas especies proporcionan diferentes niveles de protección, los árboles y arbustos ofrecen más protección, desde el punto de vista de estabilización, que las especies herbáceas (Hansen 1992).

En relación a la escogencia de especies, se debe favorecer la presencia de especies que se adaptan a las condiciones locales y se encuentren con frecuencia en la zona, para la creación o renovación de la franja de protección (Beaulieu et al., 1988). Una zona de amortiguamiento sana incluye una mezcla de arboles con madera dura y especies de madera blanda, con una cubierta de copas de alrededor del 70%. Por otra parte, el exceso de sombreado por grandes árboles puede impedir el crecimiento de pastos, arbustos y otra vegetación deseada como cobertura del suelo.

En la figura 87, se puede observar los tipos de vegetación recomendados para gestionar cada uno de los procesos que se llevan a cabo en las franjas de protección.

Teniendo en cuenta estas tipologías de vegetación se diseña para el Parque Ambiental Santo Domingo, un área de Buffer strips, por medio de especies nativas de la región. Ver figuras 88, 89 y 90.

Appropriate vegetation for the protection of watercourses

Objective	Plant selection criteria
Nutrient removal / transformation	Shrubs, trees and persistent grasses
Sediment retention	High proportions of grasses and debris
Shoreline stabilization	Trees, shrub and/or deeply rooted vegetation
Shade / temperature of the water	Large dense trees and bushes
Biodiversity	Emergent or aquatic plants in the wetland area / trees on the shore

Figura 89: Vegetación apropiada para la protección de corrientes de agua. Fuente: (Carlson et al, 1992)






## Plano Buffer Strips






Figura 90: Plano de franja de protección o Buffer strip. Fuente: Elaboración propia



### Cuadros de vegetación Buffer strips- Parque Ambiental Santo Domingo

Arboles Buffer strips - Parque Ambiental Santo Domingo		
Especie	Nombre	h
	Algarrobbillo	25
	Cariaño	20
	Catalisoto	20
	Quimula	15
	Cedrillo blanco	8

Arbustos Buffer strip - Parque Ambiental Santo Domingo		
Especie	Nombre	h
	margariton	3
	higuerillo	3
	olivo de cero	2




Coberturas Buffer strip - Parque Ambiental Santo Domingo		
Especie	Nombre	h
	Limoncillo	0.8
	Oreja de burro	0.5
	Roco	0.3

Figura 91: Cuadro de vegetación en zonas de Buffer Strips. Fuente: Elaboración propia.



## Sección transversal Buffer strips - Parque Ambinetal Santo Domingo

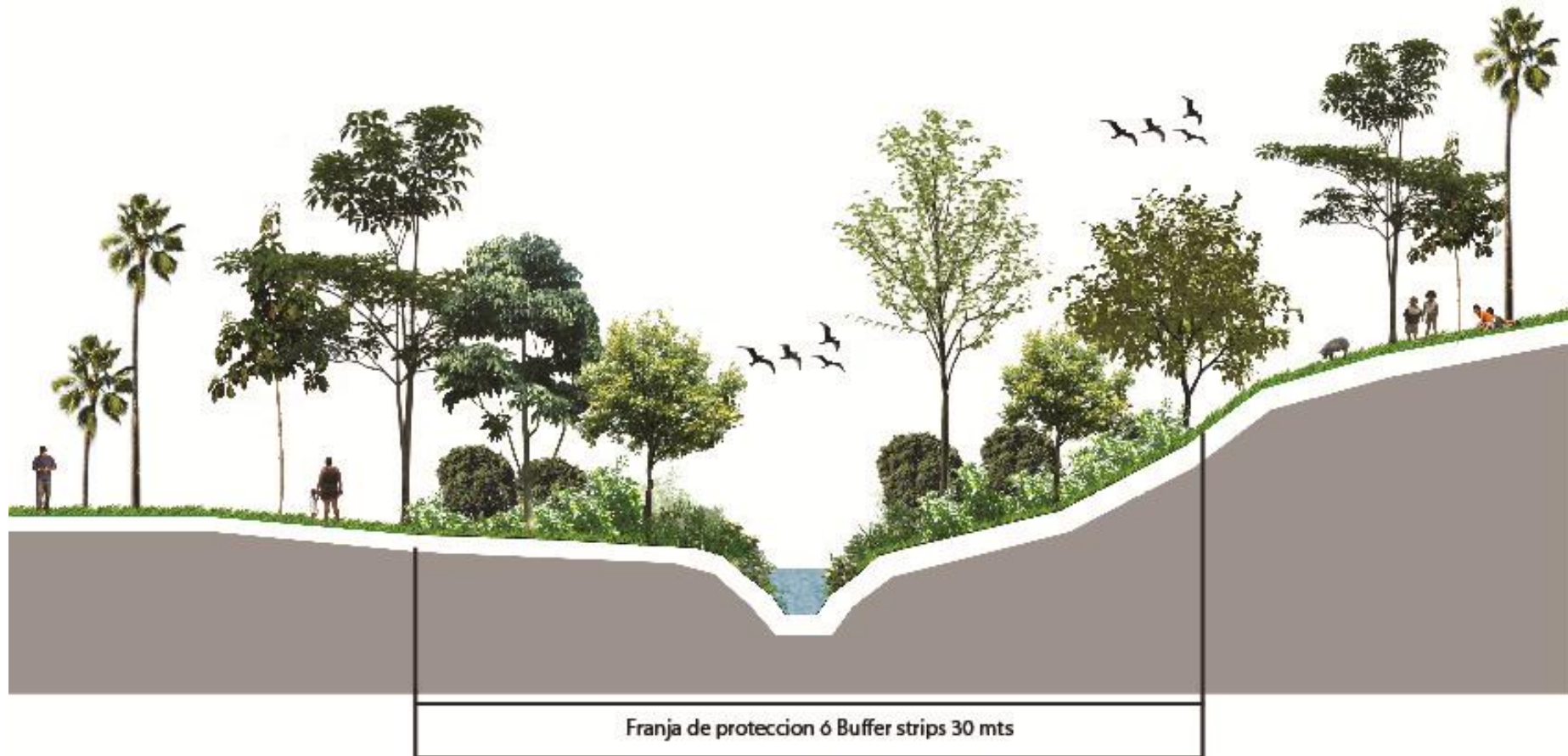


Figura 92: Sección transversal zona de Buffer strips- Parque Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia.

## 2.9. Estrategias para gestionar el consumo (Manzanas Piloto)

Bajo el actual panorama de crisis mundial del agua, Colombia podría considerarse privilegiado, pues con un promedio de más de 2000 millones de m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año, es el país más rico del mundo en recurso hídrico renovable. Sin embargo, el 90% de esta riqueza está concentrada en las cuencas hidrográficas Amazonía, Orinoquía y Pacífica, donde la densidad poblacional y la explotación del recurso son bajas. En contraste, la cuenca Magdalena-Cauca, (donde se asienta el Valle de Aburrá), es la que sustenta al 70% de la población Colombiana y al 85% del Producto Interno Bruto, aportando únicamente el 10% del recurso hídrico del país (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010).

El Valle de Aburrá, cuenta con una infraestructura de suministro de agua potable caracterizada por un alto nivel de dependencia hídrica de cuencas externas, como son la cuenca del Valle de San Nicolás y la cuenca del Río Grande, las cuales aportan el 87% del agua demandada. El proceso de suministro de agua potable en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se lleva a cabo mediante plantas de tratamiento donde se realiza una potabilización convencional. Una vez tratada el agua en estos sistemas centralizados, se requiere de una costosa infraestructura de distribución, compuesta por miles de kilómetros de tuberías, decenas de estaciones de bombeo y cientos de tanques de almacenamiento para mantener la operación.

Como se muestra en la figura 92, el sistema de suministro de agua potable del Valle de Aburrá, abastece usos del tipo residencial, comercial e industrial, cuya mayor parte del abastecimiento es para uso residencial.

Tipo de uso	Porcentaje
Ducha	46.2%
Descarga sanitaria	19.2%
Lavado ropa	11.5%
Lavado vajilla	7.7%
Cocina	7.7%
Otros usos	7.7%
Total	100.0%

Figura 94: Tipo de usos de agua en el consumo domestico en el valle de Aburra. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de <http://www2.epm.com.co>

Como se muestra en la figura 91, el consumo de agua potable residencial, se hace de manera indiscriminada sin tener en cuenta si es necesario para cada uso, el previo tratamiento de potabilización, que como se menciono anteriormente tiene alto costo de mantenimiento y operación.

Tipo de uso	Consumo anual (m <sup>3</sup> /año)
Residencial	149 696 228,00
Comercial	16 135 232,00
Industrial	14 122 756,00
Oficial	8 943 851,00
Otros	3 513 889,00
<b>Total</b>	<b>192 411 955,00</b>

Figura 93: Consumo de agua potable por tipo de uso en zona urbana del Valle de Aburra. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de <http://www2.epm.com.co>

Como puede establecerse a través del **desarrollo de** esta tesis, el esquema de gestión de agua, empleado en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se ha basado durante años, en el uso de las fuentes de agua como sumideros de desperdicios, la importación del recurso desde zonas montañosas ubicadas a grandes distancias a través de grandes obras de infraestructura, la mezcla de aguas residuales sin posibilidades de reúso y la eliminación de las aguas lluvias como si fueran desperdicios (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010).

Por otro lado, el endurecimiento del suelo asociado a la urbanización y la falta de gestión del agua lluvia para su aprovechamiento, ha incrementado drásticamente el impacto de inundaciones, obligando a crear sistemas de drenaje y canalizaciones cada vez más grandes.

Teniendo en cuenta que para el Valle de Aburrá, el promedio de precipitación es de 1670 mm/año, esta condición genera nuevas posibilidades de obtención de agua, a través de procesos de captación y almacenamiento para usos que no requieran agua potable como descargas sanitarias, limpieza general y lavado de ropas.

Bajo este panorama se decide incluir dentro de las estrategias del diseño del Parque Ambiental Santo Domingo el componente residencial como elemento inseparable de las demás estrategias de gestión de agua urbana.

Esta estrategia se lleva a cabo mediante la adecuación de dos manzanas piloto anexas al parque, las cuales hacen parte de un circuito que conecta el

parque Ambiental Santo Domingo con el parque lineal La Herrera el cual como ya se mencionó anteriormente fue diseñado y ejecutado por el PUI N, en las cuales se pretende implementar, mediante tres escenarios corto, mediano y largo plazo, dos tipos de herramientas relacionadas con el consumo de agua doméstico.

El primer escenario se basa en la implementación de tecnologías de ahorro de agua, específicamente reductores de caudal y sanitarios con cisternas de bajo consumo, los cuales según el libro parámetros de sostenibilidad logran obtener un ahorro del 40%.

El segundo escenario introduce sistemas de captación de agua lluvia a nivel de manzana, para uso comunitario, en superficies de cubierta que actualmente sean óptimas para desarrollar esta función.

El tercer escenario implica la adecuación de todas las superficies de cubierta de las manzanas para la captación de agua lluvia.

Para este propósito determinamos, un consumo promedio habitante/día discriminado por usos, el cual fue extraído de la biblioteca virtual de EEPPM, que establece un consumo de 166 l/habitante/día, para el Valle de Aburrá. Ver figura 94.

Este consumo, junto con la población de cada manzana, nos genera el escenario actual de consumo de agua potable en las manzanas de estudio. Ver figura 95.



## Plano Manzanas piloto

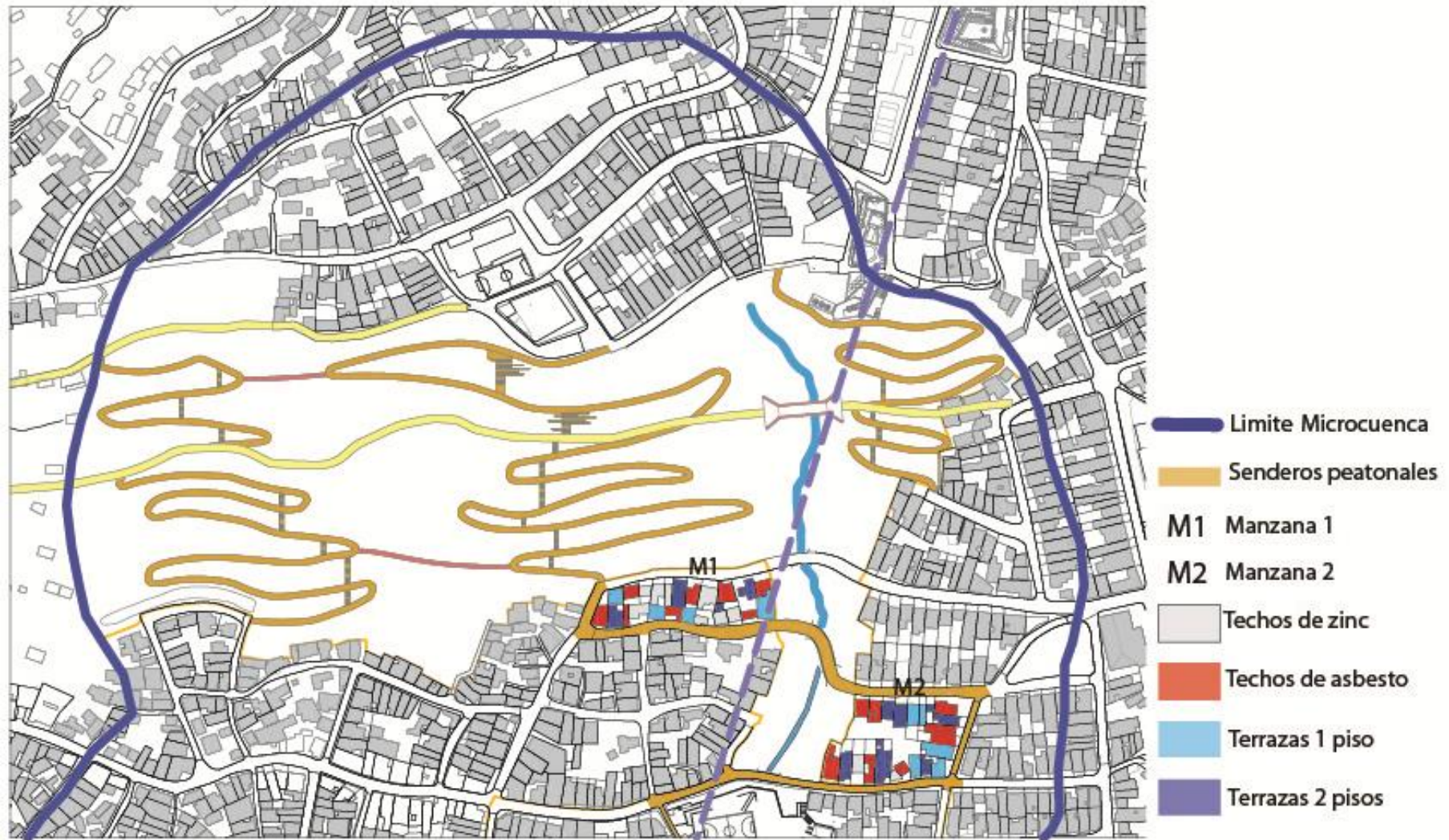


Figura 95: Plano manzanas piloto para la implementación de estrategias de gestión de consumo. Fuente: Elaboración propia



### 2.9.1. Escenario actual

Usos	Consumo estandar 166l/dia/persona
Ducha	76
descarga sanitaria	31
Lavado de vajilla	13
Cocina	13
Lavado de ropa	20
Otros usos	13
<b>Total</b>	<b>166</b>

Manzana 1 -Escenario actual

# de viviendas	Personas por vivienda	Poblacion total	lt/persona/dia	Consumo total lt/dia	Consumo total lt/mes	Consumo total m3/mes
22	4	88	166	14608	438240	438,24

Manzana 2 - Escenario actual

# de viviendas	Personas por vivienda	Poblacion	lt/persona/dia	Consumo total lt/dia	Consumo total lt/mes	Consumo total m3/mes
23	4	92	166	15272	458160	458,16

Figura 97: Consumo actual de agua por manzanas. Fuente: Elaboración propia.

Figura 96: Consumo actual de agua en Medellín habitante/día. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de <http://www2.epm.com.co>

### 2.9.2. Escenario 1 - Tecnologías de ahorro

Usos	Consumo estandar 166 l/día/persona	Consumo viable (99,6 l/día/persona) (40% de ahorro)
Ducha	76	45,6
descarga sanitaria	31	18,6
Lavado de vajilla	13	7,8
Cocina	13	7,8
Lavado de ropa	20	12
Otros usos	13	7,8
<b>Total</b>	<b>166</b>	<b>99,6</b>

Figura 98: Consumo viable mediante la aplicación de tecnologías de ahorro. Fuente: Elaboración propia.

#### Manzana 1 - Escenario 1

# de viviendas	Personas por vivienda	Poblacion total	lt/persona/día	Consumo total lt/día	Consumo total lt/mes	Consumo total m3/mes
22	4	88	99	8712	261360	261,36

#### Manzana 2 - Escenario 1

# de viviendas	Personas por vivienda	Poblacion	lt/persona/día	Consumo total lt/día	Consumo total lt/mes	Consumo total m3/mes
23	4	92	99	9108	273240	273,24

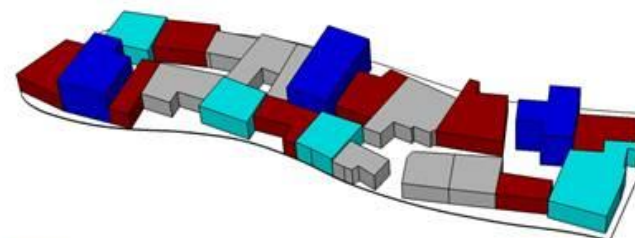
Figura 99: Consumo de agua por manzanas, con tecnologías de ahorro. Fuente: Elaboración propia.

### 2.9.3. Escenario 2 – Captación de agua lluvia (Manzana 1)

Área Techos - Manzana 1

Terraza	Barro	Asbesto	zinc	Total
515,93	0	431,43	403,94	1351,3

Figura 100: Áreas de cubiertas según material-Manzana 1: Fuente: Elaboración Propia.



- Terrazas 1 pisos
- Terrazas 2 pisos
- Techos Asbesto
- Techos Zinc

Captación de agua - Escenario 2

Mes	Precipitación Total Media (mm)	# de días de precipitación	Volumen lts/mes (mm x 515,93m <sup>2</sup> )	Total de m <sup>3</sup> recogidos al mes
Enero	65	12	33535,45	33,54
Febrero	80	13	41274,4	41,27
Marzo	126	17	65007,18	65,01
Abril	161	22	83064,73	83,06
Mayo	199	23	102670,07	102,67
Junio	158	19	81516,94	81,52
Julio	119	17	61395,67	61,40
Agosto	148	19	76357,64	76,36
Septiembre	178	22	91835,54	91,84
Octubre	212	24	109377,16	109,38
Noviembre	147	21	75841,71	75,84
Diciembre	94	15	48497,42	48,50

<b>Media</b>	<b>72,53</b>
--------------	--------------

En este escenario solo se utilizan como áreas de captación de agua lluvia las cubiertas tipo terraza ya que las demás superficies no son aptas para la captación de agua, por temas de contaminación difusa.

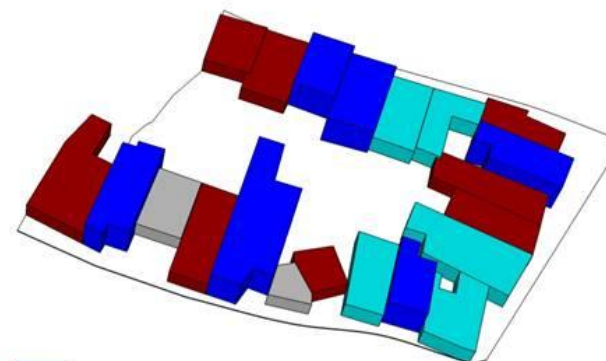
Figura 101: Volumen de agua lluvia captada en terrazas-Manzana 1. Fuente: Elaboración propia.

### Escenario 2 – Captacion de agua lluvia (Manzana 2)

Área Techos - Manzana 2

Terraza	Barro	Asbesto	zinc	Total
747,21	57,92	532,68	80	1417,81

Figura 102: Área de cubiertas según material-Manzana 2. Fuente: Elaboración propia



Captación de agua - Escenario 2

Mes	Precipitación Total Media (mm)	# de días de precipitación	Volumen lts/mes (mm x 805,13m2)	Total de m3 recogidos al mes
Enero	65	12	52333,45	52,33
Febrero	80	13	64410,4	64,41
Marzo	126	17	101446,38	101,45
Abril	161	22	129625,93	129,63
Mayo	199	23	160220,87	160,22
Junio	158	19	127210,54	127,21
Julio	119	17	95810,47	95,81
Agosto	148	19	119159,24	119,16
Septiembre	178	22	143313,14	143,31
Octubre	212	24	170687,56	170,69
Noviembre	147	21	118354,11	118,35
Diciembre	94	15	75682,22	75,68

<b>Media</b>	<b>113,19</b>
--------------	---------------

- Terrazas 1 pisos
- Terrazas 2 pisos
- Techos Asbesto
- Techos Zinc

En este escenario solo se utilizan como áreas de captación de agua lluvia las cubiertas tipo terraza ya que las demás superficies no son aptas para la captación de agua, por temas de contaminación difusa.

Figura 103: Volumen de agua lluvia captada en terrazas-Manzana 2. Fuente: Elaboración propia.

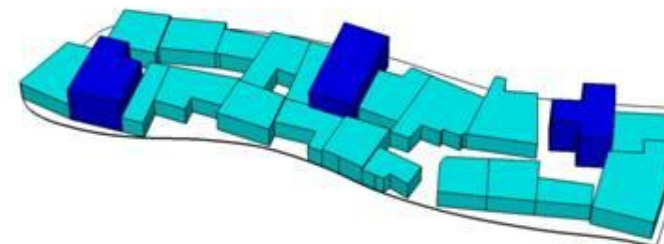


### 2.9.4. Escenario 3 – Captación de agua lluvia (Manzana 1)

Captación de agua - Escenario 3

Mes	Precipitación Total Media (mm)	# de días de precipitación	Volumen lts/mes (mm x 1351,3m <sup>2</sup> )	Total de m <sup>3</sup> recogidos al mes
Enero	65	12	87834,50	87,83
Febrero	80	13	108104,00	108,10
Marzo	126	17	170263,80	170,26
Abril	161	22	217559,30	217,56
Mayo	199	23	268908,70	268,91
Junio	158	19	213505,40	213,51
Julio	119	17	160804,70	160,80
Agosto	148	19	199992,40	199,99
Septiembre	178	22	240531,40	240,53
Octubre	212	24	286475,60	286,48
Noviembre	147	21	198641,10	198,64
Diciembre	94	15	127022,20	127,02

<b>Media</b>	<b>189,97</b>
--------------	---------------



- Terrazas 1 pisos
- Terrazas 2 pisos

En este escenario se acondicionan todas las superficies de cubierta para la captación de agua lluvia con el objetivo de aumentar el área de captación.

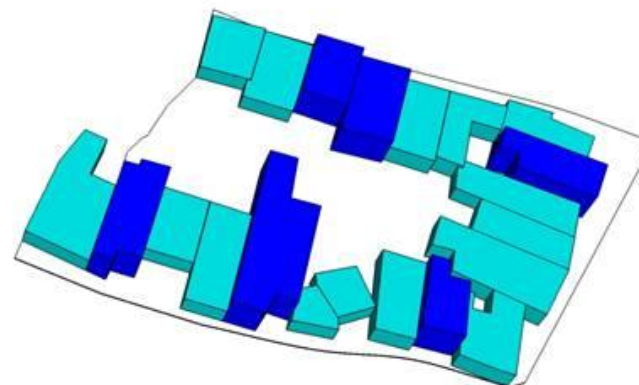
Figura 104: Volumen de agua lluvia captada en todas las superficies de cubierta-Manzana 1. Fuente: Elaboración propia.

**Escenario 3 – Captacion de agua lluvia (Manzana 2)**

**Captación de agua - Escenario 3**

Mes	Precipitación Total Media (mm)	# de dias de precipitación	Volumen lts/mes (mm x 1417,81m2)	Total de m3 recogidos al mes
Enero	65	12	92157,65	92,16
Febrero	80	13	113424,80	113,42
Marzo	126	17	178644,06	178,64
Abril	161	22	228267,41	228,27
Mayo	199	23	282144,19	282,14
Junio	158	19	224013,98	224,01
Julio	119	17	168719,39	168,72
Agosto	148	19	209835,88	209,84
Septiembre	178	22	252370,18	252,37
Octubre	212	24	300575,72	300,58
Noviembre	147	21	208418,07	208,42
Diciembre	94	15	133274,14	133,27

<b>Media</b>	<b>199,32</b>
--------------	---------------



- Terrazas 1 pisos
- Terrazas 2 pisos

En este escenario se acondicionan todas las superficies de cubierta para la captación de agua lluvia con el objetivo de aumentar el área de captación.

Figura 105: Volumen de agua lluvia captada en todas las superficies de cubierta-Manzana 2 . Fuente: Elaboración propia.

## 2.10. Gestión de la vulnerabilidad

El proceso informal de ocupación del cerro de santo Domingo ha generado un cuadro complejo de vulnerabilidad en la zona.

La vulnerabilidad se define en este documento como la incapacidad de un sistema socio-ecológico para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio generándose por esto situaciones de riesgo. La vulnerabilidad determina la intensidad de los daños que produce la ocurrencia efectiva del riesgo sobre el sistema urbano.

El análisis desarrollado en el documento PIOM (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín) manifiesta que uno de los factores que mas determinan las características sociales y ambientales de las comunidades del sector es la pendiente y la conectividad entre territorios.

**Vulnerabilidad constructiva de los asentamientos:** Las condiciones constructivas de los asentamientos del cerro Santo Domingo, hacen que exista alto riesgo de derrumbe de los mismos. Adicionalmente, la posible colmatación del terreno ante eventos de lluvia genera riesgo de deslizamiento.

El proyecto ambiental propuesto plantea:

- Relocalización de las viviendas ubicadas sobre el área del cerro de Santo Domingo.
- Gestión de la infiltración directa en terreno mediante sistemas de buffer stripe, dren filitrante y áreas de bio-retención.

El objetivo del sistema de gestión propuesto es limitar la infiltración directa en terreno de altas pendientes, con el fin de disminuir la colmatación del terreno y el riesgo de deslizamiento.

La superficie deforestada de la montaña es reemplaza por áreas vegetales Buffer Strip que aumentan la impermeabilidad, la retención y la evo transpiración, disminuyendo la infiltración y la generación de escorrentía superficial. La escorrentía producida en se recoge en los caminos peatonales que cumplen la función de dren filtrante y las áreas de bio retención donde se filtra eliminando parte de la contaminación y se conduce a depósitos para su uso posterior en actividades como el mantenimiento del parque y huertos urbanos.

### **Vulnerabilidad ambiental:**

La recuperación de la cobertura vegetal y la gestión del agua de escorrentía y de las aguas servidas mediante sistemas de humedales construidos busca recuperar ambientalmente el sector de la intervención, disminuyendo el riesgo de erosión y perdida de la capacidad productiva del territorio urbano y de las condiciones ambientales. La contaminación de los cursos de agua es un grave riesgo para la salud y desarrollo de las comunidades del la cuenca entera. Si bien, el proyecto dista mucho proponer la reparación total de la microcuenca busca ser un paso importante a nivel demostrativo sobre la capacidad de este tipo de planteamientos urbano ambientales.

## Vulnerabilidad Social

La propuesta busca generar servicios eco sistémicos y sistemas de gestión del recurso hídrico que necesiten para su funcionamiento la vinculación y organización de la comunidad.

En este sentido, se busca mejorar los valores explícitos y implícitos en torno a la gestión ambiental de la cuenca, la corresponsabilidad e el manejo del recurso hídrico y fomentar la cohesión del población.

Los Proyectos Urbanos Integrales han demostrado la importancia que tiene una buena oferta de espacio público para fomentar la integración social. La propuesta aboga potencializar esta cohesión mediante la generación de actividades de carácter comunitario en torno a la gestión ambiental de la microcuenca. El aula ambiental propuesta, busca iniciar el proceso de formación, especialmente entre los más jóvenes.

### 2.11. Servicios ecosistemicos

Con la dinámica expansiva de las ciudades y la urbanización de la vida, los parques, así como el verde urbano en general, empiezan a ser vistos por sus funciones, valores y servicios ambientales, como naturaleza urbana, y no solo por sus formas estéticas u ornamentales en el espacio urbano (Platt, 1994; Hough, 1998; Ward, 2002; Vélez, 2007). Actualmente se plantea la pregunta por la contribución de este tipo de espacios al proyecto de hacer ciudades más balanceadas y sostenibles ecológicamente.

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio define los “servicios ecosistémicos” como aquellos beneficios que la gente obtiene de los

ecosistemas. Esos beneficios pueden ser de dos tipos: directos e indirectos. Se consideran beneficios directos la producción de provisiones –agua y alimentos (servicios de aprovisionamiento), o la regulación de ciclos como las inundaciones, degradación de los suelos, desecación y salinización, plagas y enfermedades (servicios de regulación).

Los beneficios indirectos se relacionan con el funcionamiento de procesos del ecosistema que genera los servicios directos (servicios de apoyo), como el proceso de fotosíntesis y la formación y almacenamiento de materia orgánica; el ciclo de nutrientes; la creación y asimilación del suelo y la neutralización de desechos tóxicos.

Beneficios directos	
Servicios de Aprovisionamiento	Servicios de Regulación
Alimentos	Regulación climática
Agua dulce	Regulación de caudales
Leña	Purificación del agua
Medicinas	Polinización
Fibra	Control de enfermedades
Recursos genéticos	Control de plagas

Beneficios indirectos	Beneficios no materiales
Servicios de apoyo	Servicios culturales
Formación de suelos	Espirituales y religiosos
Ciclos de nutrientes	Recreación
Producción primaria	Estéticos
Procesos de fotosíntesis	Fuentes de inspiración
Almacenamiento de materia orgánica	Educativos
	Sentido de pertenencia

Los

Figura 106: Clasificación de servicios ecosistémicos según tipo de beneficios. Fuente: Elaboración propia.



ecosistemas también ofrecen beneficios no materiales, como los valores estéticos y espirituales y culturales, o las oportunidades de recreación (servicios culturales). Ver figura 104.

En el caso del Parque Ambiental Santo Domingo, la recuperación ambiental que se hace del cerro, y la adecuada gestión de los recursos naturales, hacen posible alcanzar una potencialización de los servicios ecosistémicos. Algunos son el resultado de la reforestación y recuperación de zonas verdes y en definitiva del correcto funcionamiento de los ecosistemas asociados al parque. Otros requieren de una organización comunitaria para poderse desarrollar.

Los principales servicios ecosistémicos asociados al Parque son:

#### **Asociados a humedales artificiales y zonas de bioretención**

- Purificación del agua
- Control de enfermedades
- Regulación de caudales

#### **Asociados a procesos de reforestación**

- Polinización
- Purificación del aire
- Formación de suelos

- Ciclos de nutrientes
- Almacenamiento de materia orgánica

#### **Asociados a la generación de espacio público con calidad ambiental:**

- Recreación
- Educativos
- Sentido de pertenencia
- Agricultura urbana

## **2.12. Diseño fina**

### Parque urbano Ambiental Santo Domingo



Figura 107: Planta urbana Parque Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia

### Cuadro de Áreas Parque Ambiental Santo Domingo

Item	m2
Humedades artificiales	1326
Zonas de bioretencion	1661
Buffer strips	6334
Huertos comunitarios	2996
Aula Ambiental	343
Circulaciones	7262

Area recuperada	<b>70338</b>
-----------------	--------------

Manzanas Piloto	<b>4682</b>
-----------------	-------------

Figura 109: Cuadro de áreas Parque Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia

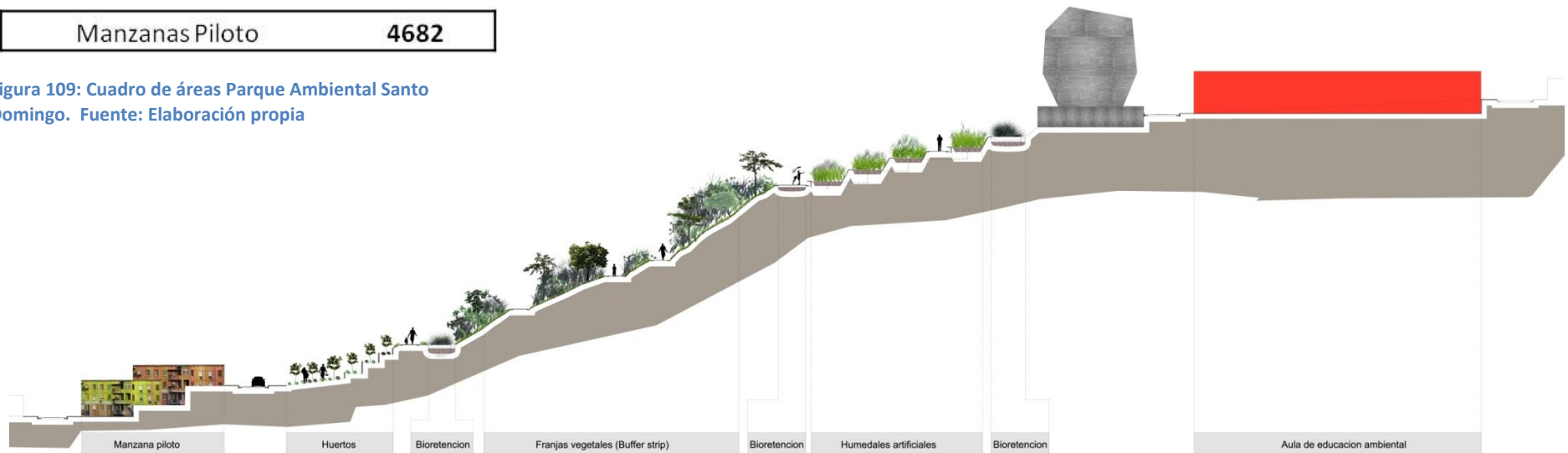


Figura 108: Sección transversal Parque Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia.





Figura 110. Parque Ambiental Santo Domingo – Propuesta final. Fuente: Elaboración propia.

## Discusión y conclusiones

El desarrollo del presente trabajo de maestría ha permitido demostrar la posibilidad teórica de incluir estrategias de diseño y técnicas de gestión de agua vinculadas al espacio público que permiten la recuperación ambiental de las cuencas urbanas, la disminución de la vulnerabilidad de asentamientos informales en laderas de montaña y la potencialización de servicios ecosistémicos vinculados a las áreas verdes urbanas.

El trabajo contó para su desarrollo con la asesoría, aparte del director, de varios miembros del grupo de investigación AquaSost, de la Cátedra UNESCO de Sostenibilidad, por lo que se considera que las propuestas realizadas y los cálculos preliminares de cada componente propuesto son ajustados a una realidad constructiva. Si bien, el análisis de la factibilidad económica del proyecto, es una tarea que sobrepasaba los objetivos planteados para este proyecto, existen estudios detallados de factibilidad que concluyen que no solo es posible aplicar este tipo de tecnologías en el contexto latinoamericano, sino que pueden ofrecer ventajas económicas importantes debido a la disminución de la necesidad de grandes infraestructuras de gestión centralizadas como colectores, plantas depuradoras de aguas residuales (Burgos, 2010). Adicionalmente se considera que hay aspectos incommensurables que dificultan la comparación económica con el sistema tradicional de gestión de agua basada exclusivamente en el costo monetario de la construcción. Estos aspectos son: la prestación de servicios ecosistémicos, el mejoramiento de las condiciones ambientales, la disminución de la huella hídrica urbana, etc.

Desde esta perspectiva, el diseño urbano puede ser entendido como una potente herramienta para la generación y la gestión de procesos vinculados con la recuperación y la protección del ambiente urbano. Estas estrategias de gestión deben vincular aspectos técnicos y sociales dentro de sus propuestas de actuación, mejorando la resiliencia del sistema socioecológico urbano. Autores relacionados con el tema (Wong, 2008; Brown et al, 2008) definen esta relación social, técnica y ambiental como “contrato hidro-social”.

Este proceso de mejoramiento es gradual, y a nivel urbano debe plantearse bajo una mirada integral de gestión territorial. El proyecto demostrativo planteado en este trabajo de tesis, si bien es una construcción puntual esta ligado directamente con estrategias de gestión a corto, mediano y largo plazo, que abarcan la microcuenca como territorio de recuperación.

La política urbana de Colombia, contempla a nivel normativo, la recuperación de las microcuencas urbanas, el mejoramiento de las condiciones ambientales de los cursos de agua urbano, y la generación de procesos de participación para lograr estos objetivos, sin embargo, desde la visión del arquitecto urbanista, es difícil encontrar en los documentos oficiales, la propuesta de herramientas y estrategias concretas de actuación, por lo que es difícil poder llevar estas intenciones a cabo dentro de los proyectos de dotación y recuperación del espacio público. El análisis normativo llevado a cabo en este documento, deja ver un vacío importante entre las directrices para la gestión ambiental de la cuenca del Valle de Aburrá, y las propuestas desarrolladas por el Manual del Espacio Público MEP, documento que define las características constructivas del espacio público en Medellín. Un análisis normativo exhaustivo y la propuesta de opciones de mejora excede el conocimiento de la autora de esta tesina.

En el contexto Colombiano el tema de la gestión de agua urbana, es un campo nuevo de investigación en el área del urbanismo. Algunas líneas de trabajo a futuro podrían ser:

- Formulación de un proyecto demostrativo con carácter constructivo real que permita comprobar los enunciados teóricos aplicados en este trabajo.
- Un trabajo interdisciplinar para la formulación de herramientas que permitan concretar la visiones estrategicas de las normativas urbanas relacionadas con la recuperación y gestión de cuencas urbanas.
- Generación de manuales de buenas practicas que incluyan la gestión medioambiental de cuencas urbanas dentro de los manuales de espacio publico y demas herramientas de los arquitectos urbanistas.
- Propuestas normativas dentro del codigo tecnico de la construcción en colombia, que determinen herramientas obligatorias y recomendación para mejorar la gestión de agua a nivel urbano.
- Generar herramientas que puedan medir la sostenibilidad o resiliencia de la gestión de agua a nivel urbano en el contexto urbano en Colombia.

## Bibliografía

- Agredo, A. (2010). La Cuenca Urbana, Unidad Territorial para el Desarrollo Sostenible de Ciudades de Media Montaña en el Trópico Colombiano. Tesis de Maestría. Unpublished Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales, Manizales, Colombia.
- Antón, D. J. (1996). Ciudades Sedientas. Agua y Ambientes Urbanos en América Latina. Uruguay. Unesco y Editorial NORDAN
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del Rio Aburrá, aspectos principales. Primera edición Medellín: Impregon S.A.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2010). Documento Técnico de Base para la elaboración de una Política de Construcción Sostenible para el Valle de Aburrá. Medellín: AMVA.
- Beaulieu et al. (1988). Guide d'analyse et d'aménagement de cours d'eau à des fins agricoles. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
- Brown, R., Keath, N., and Wong, T., (2008). Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transitions states, paper submitted to 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
- Burgos, V. (2010). Desarrollo de Bajo Impacto Ecológico: Pautas hacia una cultura hidrológica en Mendoza. Instituto Nacional del Agua. Centro Regional Andino, 1-33.
- Carlson, J.R., G.L. Conaway, J.L. Gibbs and J.C. Hoag. (1992). Design Criteria for Revegetation in Riparian Zones of the Intermountain Area. In Proceedings - Symposium on Ecology and Management of Riparia Shrub Communties. USDA. Intermountain Research Station. Report INT-289. p. 145-150.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (1994). Políticas Públicas para el Desarrollo Sustentable: La Gestión Integrada de Cuencas. Retrieved 4/30/2012, from; [www.eclac.org/publicaciones/xml/9/19759/lcr1399s.pdf](http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/19759/lcr1399s.pdf)
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (1999). In CEPAL (Ed.), Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. Retrieved 4/30/2012, from; [www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/5668/LCR1948-E.pdf](http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/5668/LCR1948-E.pdf)
- Departamento administrativo de planeación municipal de Medellín. (2006). Acuerdo Municipal N° 46 Plan de Ordenamiento Territorial- Municipio de Medellín, Medellín.
- Dillaha, T.A., J.H. Sherrard, D. Lee, S. Mostaghimi, V.O. Shanholtz. 1985. Sediment and Phosphorus Transport in Vegetative Filter Strips: Phase I, Field Studies. ASAE. Paper No: 85-2043.
- Forster, L.D. and G. Abraham. 1985. Sediment Deposits in Drainage Ditches: A Cropland Externality. JS WC. Vol.40:1. p. 141-144.
- Gallopín, G. 2004. Sustainable Development epistemological challenges to science and technology. Background paper prepared for the WorkShop on “Sustainable Development Epistemological Challenges to science and technlogy”, ECLAC, Santiago de Chile, Octubre 13-15, 2004.



- Gleick, P. H., Loh, P., Gomez, S. V. & Morrison, J. (1995). California wáter 2020: A sustainable vision. Retrieved 4/30/2012, from; [http://www.pacinst.org/reports/california\\_water\\_2020/summary.htm](http://www.pacinst.org/reports/california_water_2020/summary.htm)
- Gobel, P., Dierkes, C., & Coldewey, W. G. (2007). Storm water runoff concentration matrix for urban áreas. *Journal of Contaminant Hydrology*, 91(1-2), 26-42.
- Gordon, A.M. 1993. Agroforestry an Overview. In. Webb, K.T. (ed.) *Proceedings of the Agroforestry Workshop*, Truro, Nova Scotia. Nova Scotia Soils Institute. p. 1-6.
- Hansen, P.L. 1992. Classification and Management of Riparian Shrub Sites in Montana. In *Proceedings- Symposium on Ecology and Management of Riparian Shrub Communities.*, USDA. Intermountain Research Station. Report INT-289. p.68-78.
- Herce, M., Miró, J. (2002). *El Soporte Infraestructural de la Ciudad*. Barcelona: Ediciones UPC, 175 pág.
- Hough, M. (1998). *Naturaleza y ciudad*. Barcelona: Gustavo Gili S. A.
- IDEAM. (2010). In Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ed.), *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá (Colombia): Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Marsalek, J. e. a. (2008). In UNESCO (Ed.), *Urban Water Wycle Proceessand Interactions UNESCO*. Paris, 87pag.
- Mays, L. W. (2007). *Water resources sustainability McGraw-Hill*.
- Muller, M. (2007). Adapting to climate change: Water management for urban resilience *Environment and Urbanization*, 19(1), 99-113.
- Mulliss, R. (1996). The impacts of urban discharges on the hydrology and water quality of an urban watercourse. *Science of the Total Environment*, 189-190, 385.
- Niemczynowicz, J. (1999). Urban hydrology and water management – present and future challenges. *Urban Water*, 1(1), 1-14.
- Platt, R. (1994). From commons to commons: evolving concepts of open space in North American cities. In: Platt, R.; Powtree, R. & Muick, P. (eds.): *The ecological city*. Amherst: The University of Massachusetts Press, p. 21-40.
- Peterjohn, W.T. and D.L. Correll. 1984. Nutrient Dynamics in an Agricultural Watershed: Observations on the Role of a Riparian Forest. *Ecology*. Vol. 65:5. p. 1466-1475.
- PRIMED (1996). *Una experiencia exitosa en la intervención urbana*. Colombia: Multigráficas
- Salas, J., Pidre, J., Sánchez, L. (2007). *Manual de Tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. Capitulo IV. Humedades Artificiales*. España: Junta de Andalucía del Agua, 110 pág.
- Salas, W., RÍos-Osorio, L., Álvarez del Castillo, J. (2012) Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología Austral* 22:74-79.

Secretaria del Medio Ambiente de Medellin. (2005). Formulación del plan de ordenamiento y manejo integral de la cuenca La Herrera o Granizal en la zona Nororiental de Medellin, Medellin.

Sydney Water, Stormwater Trust, & UpperParramatta River Catchment Trust. (2004). In Upper Parramatta River Catchment Trust, Stormwater Trust (Eds.), Water sensitive urban design: Technical guidelines for western, Sydney.

UN-Habitat (2006). Global Reporto n Human Settlement. State of the World Cities 2006. Reino Unido: Earthscan.

Vélez, L. A. (2007). La conservación de la naturaleza urbana. Un nuevo reto en la gestión ambiental de las ciudades, para el siglo XXI. Bitácora, vol. 11, N° 1, p. 20-27.

WARD, T. C. (2002) Urban open space in the 21st century. Landscape and Urban Planning, vol. 60, p. 59-72.

Water by Design. (2009). Concept design guidelines for water sensitive urban design. version 1. Brisbane: South East Queensland Healthy Water Ways Parthership.

White, J.B. 1993. Riparian Buffers Strips. In Webb, K.T. (ed.) Proceedings of the Agroforestry Workshop, Truro, Nova Scotia. Nova Scotia Soils Institute. p.28-34.

Williams, P.A. 1993. The role of Agroforestry in the Stewardship of Land and Water. In Webb, K. T. (ed.) Proceedings of the Agroforestry Workshop, Truro, Nova Scotia. Nova Scotia Soils Institute. p.80-88.

Wong, T., & Brown, R. (2008). Transitioning to water sensitive cities: Ensuring resilience throuh a new hydro-social contract, 11th International Conference on Urban Drenaje. Edinburgh, Scotland, UK. pp. 1-10.

## Lista de figuras

Figura 1: Esquema de la metodología implementada en el desarrollo de la Tesina. Fuente: Elaboración propia.....	10
Figura 2: Balance hídrico en áreas no urbanizadas. Fuente: (Water by Desing, 2009) .....	14
Figura 3: Afectación del balance hídrico natural. Fuente: Water by Desing, 2009) .....	15
Figura 4: Componenetes del ciclo hídrico urbano. Fuente: (Marsalek et al, 2008) .....	16
Figura 5: Recuperación del balance hídrico en cuencas urbanas. Fuente: (Water by Desing, 2009) .....	20
Figura 6: Gestión Integral del ciclo hídrico urbano. Fuente: (Water by Desing).....	22
Figura 7: Sistema de bioretención de agua lluvia. Fuente: <a href="http://www.equatica.com.au/newsarchive.html">http://www.equatica.com.au/newsarchive.html</a> , junio 19 de 2012. ....	24
Figura 8: Sistema de bioretención de agua lluvia. Fuente: <a href="http://www.equatica.com.au/newsarchive.html">http://www.equatica.com.au/newsarchive.html</a> , junio 19 de 2012. ....	25
Figura 9: Humedal artificial. Fuente: <a href="http://www.aguamarket.com">http://www.aguamarket.com</a> , 19 de junio de 2012.....	25
Figura 10: Comuna Nororiental de Medellín, año 2005. Fuente: Archivo Empresa de Desarrollo Urbano-EDU.....	27
Figura 11: Sistema de transporte Metrocable comuna Nororiental 2005. Fuente: Archivo PUI Nororiental.....	28

Figura 12: Puente peatonal Andalucía-La Francia, PUI Nororiental. Año 2008. Fuente: Archivo EDU.....	29	Figura 26: Plano de vertimientos de aguas residuales domesticas sobre quebrada La Herrera. (Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005) .....	36
Figura 13: Parque de la imaginación, PUI Nororiental. Año 2008. Fuente: Archivo EDU.....	29	Figura 27: Contaminación actual afluentes Rio Aburra. Fuente: (Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005) .....	37
Figura 14: Parque del ajedrez, PUI Nororiental. Año 2005 Fuente: Archivo EDU.....	30	Figura 28: Aforo y toma de muestras, quebrada La Herrera. Fuente (Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005).....	38
Figura 15: Mapa de localización de obras PUI Nororiental. Año 2005 Fuente: Archivo EDU.....	30	Figura 29: Distribución espacial de las captaciones identificadas en la microcuenca. Fuente: PIOM La Herrera. ....	38
Figura 16: Parque de la paz, PUI Nororiental. Año 2005 Fuente: Archivo EDU.....	30	Figura 30: Análisis de aguas quebrada La Herrera. Fuente: (Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005) .....	39
Figura 17: Proyecto parque lineal La Herrera. Año 2010. Fuente: Archivo EDU.....	31	Figura 31: Análisis de aguas quebrada La Herrera. Fuente: (Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005) .....	39
Figura 18: Microcuenca La Herrera antes de construcción del parque lineal La Herrera. Año 2005 Fuente: Archivo EDU .....	31	Figura 32: Reporte de ensayo de los análisis fisicoquímicos, biológicos e instrumentales de las muestras de agua cruda de la microcuenca La Herrera. (Fuente Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005).....	40
Figura 19: Delimitación y localización microcuenca La Herrera. Fuente: (Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005) .....	32	Figura 33: Esquema de la actual gestión de agua urbana en la ciudad de Medellín. Fuente: Elaboración propia. ....	51
Figura 20: Sistema hidrológico quebrada La Herrera. Fuente: (Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005) .....	32	Figura 34: Cuadro de jerarquización de directrices analizadas. Fuente: Elaboración propia. ....	52
Figura 21: Zona Nororiental años 50's. Fuente: (Alcaldía de Medellín, 2006).....	33	Figura 35: Proyectos ejecutados por el PUI Nororiental en la zona del cerro Santo Domingo: Fuente: Archivo Empresa de Desarrollo Urbano - EDU	57
Figura 22: Zona Nororiental años 60's. Fuente: (Alcaldía de Medellín, 2006).....	33	Figura 36: Parque y paseo peatonal La Candelaria. Centralidad Santo Domingo, septiembre 2009. Fuente: Archivo EDU .....	58
Figura 23: Zona Nororiental años 70's. (Alcaldía de Medellín, 2006) ....	34	Figura 37: Parque Biblioteca Santo Domingo. Centralidad Santo Domingo. Noviembre de 2009. Fuente: Archivo Alcaldía de Medellín, .....	58
Figura 24: Zona Nororiental años 80's. Fuente: (Alcaldía de Medellín, 2006).....	34	Figura 38: Parque de los niños. Centralidad Santo Domingo. Septiembre 2009. Fuente: Archivo EDU .....	58
Figura 25: Sectorización de la microcuenca de la Herrera. Fuente: (Secretaria del Medio Ambiente de Medellín, 2005) .....	35		

Figura 39: Fase de diseño y construcción del parque Lineal de la Herrera. Año 2010 Fuente: Archivo EDU .....	59	Figura 52: Sistema de alcantarillado existente en la zona, y nacimiento de la quebrada La Herrera. Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005) .....	68
Figura 40: Consolidación del cerro Santo Domingo como Parque ambiental. Fuente: Elaboración propia .....	59	Figura 53: Reporte de ensayo de los análisis fisicoquímicos, biológicos e instrumentales de las muestras de agua cruda de la microcuenca la Herrera, punto 1 (nacimiento). Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005) .....	69
Figura 41: Intervención del PUI Nororiental sobre la quebrada La Herrera. Fuente: Elaboración propia. ....	59	Figura 54: Aforo y toma de muestras quebrada La Herrera. Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, 2005) .....	69
Figura 42: Fotografía del cerro Santo Domingo. Fuente: <a href="http://scottkobewka.com">http://scottkobewka.com</a> , consultado octubre2010 .....	60	Figura 55: Información general subcuencas 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia. ....	70
Figura 43: Plano topográfico cerro Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia.....	60	Figura 56: Alcantarillado Separativo. Sistema de drenaje de aguas lluvias. Fuente: Elaboración propia .....	71
Figura 44: División de subcuencas y sub-subcuencas. Fuente: Elaboración propia.....	61	Figura 57: Alcantarillado Separativo. Sistema de drenaje de aguas pluviales. Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 45: Área de subcuenca 2 y sus correspondientes sub-subcuencas. Fuente: Elaboración propia .....	62	Figura 58: Tabla de Calculo humedal artificial 1. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost .....	74
Figura 46: Área de subcuenca 1 y sus correspondientes sub-subcuencas. Fuente: Elaboración propia .....	62	Figura 59: Tabla de Calculo humedal artificial 1. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost .....	75
Figura 47: Área de subcuenca 3 y sus correspondientes sub-subcuencas. Fuente: Elaboración propia .....	62	Figura 60: Tabla de Calculo humedal artificial 1. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost .....	76
Figura 48: Huertos urbanos. Fuente: <a href="http://www.planetajoy.com/?5_ciudades_del_mundo_en_donde_esta_de_moda_la_huerta_urbana&amp;page=ampliada&amp;id=4407">http://www.planetajoy.com/?5_ciudades_del_mundo_en_donde_esta_de_moda_la_huerta_urbana&amp;page=ampliada&amp;id=4407</a> .....	65	Figura 61: Tabla de Calculo humedal artificial 2. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost .....	77
Figura 49: Huertos urbanos para jubilados, Parque de San Marti, Barcelona. Fuente: <a href="http://www.ruraliberica.com/fotos/foto.asp?Id=5360">http://www.ruraliberica.com/fotos/foto.asp?Id=5360</a>	65	Figura 62: Tabla de Calculo humedal artificial 2. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost .....	78
Figura 50: Comunidad participando del Taller de Imaginarios PUI Nororiental. Fuente: Archivo PUI Nororiental.....	67	Figura 63: Tabla de Calculo humedal artificial 2. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost .....	79
Figura 51: Propuesta Aula Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia.....	67	Figura 64: Tabla de Calculo humedal artificial 3. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost .....	80



Figura 65: Tabla de Calculo humedal artificial 3 Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost .....	81	Figura 79: Definición del área para cálculo del Dren Filtrante. Fuente: Elaboración propia .....	92
Figura 66: : Tabla de Calculo humedal artificial 3. Fuente: Elaboración propia a partir de tabla suministrada por el Grupo Aquasost .....	82	Figura 80: Volumen de agua infiltrado en el camino ó Dren. Fuente: Elaboración propia .....	93
Figura 67: Sección Transversal humedales artificiales de flujo subsuperficial subcuenca 2. Fuente: Elaboración Propia .....	83	Figura 81: Calculo volumen de agua de escorrentía y agua infiltrada en la cuenca aportante y en el camino en un evento de lluvia promedio. Fuente: Elaboración propia. ....	93
Figura 68: Sección longitudinal de humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal. Fuente: Elaboración propia.....	84	Figura 82: Volumen de agua capaz de ser retenida por el Dren. Fuente: Elaboración propia. ....	93
Figura 69: Propuesta humedales construidos Parque Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia .....	85	Figura 83: Volumen de agua que debe ser gestionado por medio de canaletas laterales. Fuente: Elaboración propia. ....	93
Figura 70: Ejemplos de humedales artificiales subsuperficiales vinculados a espacio urbano. Shangai Houtan Park. Fuente: www.turenscape.com...	85	Figura 84: Sistema Drenes Filtrantes en senderos peatonales. Fuente: Elaboración propia .....	94
Figura 71: Estado de impermeabilización del suelo en la microcuenca La Herrera. Fuente: Elaboración propia. ....	86	Figura 85. Plano de subcuencas y zonas de bioretención parte media del cerro. Fuente: Elaboración propia. ....	95
Figura 72: Sistema de bioretención. Fuente: Concept Design Guidellnes for Water Sensitive Urban Design (Water by Design, 2009).....	87	Figura 86: Propuesta sistemas de bioretención y drenes filtrantes. Fuente: Elaboración propia. ....	96
Figura 73: Esquema de zonas de Bioretención. Fuente: <a href="http://espaciointerior1.blogspot.com.es/2011_08_01_archive.html">http://espaciointerior1.blogspot.com.es/2011_08_01_archive.html</a> agosto 2011.....	87	Figura 87: Ejemplos zonas de bioretención. Fuente: Water Sensitive Urban Design (Water by Design, 2009).....	96
Figura 74: Áreas necesarias para zonas de bioretención parte superior del cerro. Fuente: Elaboración propia. ....	88	Figura 88: Eficiencia de una franja vegetal de 19 mts. Fuente: (PeterJonh and Correll, 1984) .....	97
Figura 75: Áreas necesarias para zonas de bioretención parte media del cerro. Fuente: Elaboración propia. ....	88	Figura 89: Vegetación apropiada para la protección de corrientes de agua. Fuente: (Carlson et al, 1992).....	98
Figura 76: áreas de bioretención para tratamiento de la escorrentía de la parte superior del cerro. Fuente: Elaboración propia .....	89	Figura 90: Plano de franja de protección o Buffer strip. Fuente: Elaboración propia .....	99
Figura 77: Sección longitudinal zonas de bioretención. Fuente: Elaboración propia .....	90	Figura 91: Cuadro de vegetación en zonas de Buffer Strips. Fuente: Elaboración propia .....	100
Figura 78: Plano de subcuencas y circulaciones como drenes filtrantes. Fuente: Elaboración propia. ....	91	Figura 92: Sección transversal zona de Buffer Strips- Parque Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia. ....	101

Figura 93: Consumo de agua potable por tipo de uso en zona urbana del Valle de Aburra. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de <a href="http://www2.epm.com.co">http://www2.epm.com.co</a> .....	102	Figura 105: Volumen de agua lluvia captada en todas las superficies de cubierta-Manzana 2 . Fuente: Elaboración propia. ....	110
Figura 94: Tipo de usos de agua en el consumo domestico en el valle de Aburra. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de <a href="http://www2.epm.com.co">http://www2.epm.com.co</a> .....	102	Figura 106: Clasificación de servicios ecosistémicos según tipo de beneficios. Fuente: Elaboración propia. ....	112
Figura 95: Plano manzanas piloto para la implementación de estrategias de gestión de consumo. Fuente: Elaboración propia.....	104	Figura 107: Planta urbana Parque Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia .....	115
Figura 96: Consumo actual de agua en Medellín habitante/día. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de <a href="http://www2.epm.com.co">http://www2.epm.com.co</a> .....	105	Figura 108: Sección transversal Parque Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia. ....	116
Figura 97: Consumo actual de agua por manzanas. Fuente: Elaboración propia.....	105	Figura 109: Cuadro de áreas Parque Ambiental Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia .....	116
Figura 98: Consumo viable mediante la aplicación de tecnologías de ahorro. Fuente: Elaboración propia. ....	106	Figura 110. Parque Ambiental Santo Domingo – Propuesta final. Fuente: Elaboración propia. ....	117
Figura 99: Consumo de agua por manzanas, con tecnologías de ahorro. Fuente: Elaboración propia. ....	106		
Figura 101: Volumen de agua lluvia captada en terrazas-Manzana 1. Fuente: Elaboración propia. ....	107		
Figura 100: Áreas de cubiertas según material-Manzana 1: Fuente: Elaboración Propia. ....	107		
Figura 102: Área de cubiertas según material-Manzana 2. Fuente: Elaboración propia .....	108		
Figura 103: Volumen de agua lluvia captada en terrazas-Manzana 2. Fuente: Elaboración propia. ....	108		
Figura 104: Volumen de agua lluvia captada en todas las superficies de cubierta-Manzana 1. Fuente: Elaboración propia.....	109		

**Anexos**

MICRO CUENCA LA HERRERA CENTRALIDAD SANTO DOMINGO		PROBLEMÁTICA PRESENTE RELACIONADA CON					OBJETIVOS EN ESCALAS TEMPORALES		
COMPONENTES DEL CICLO HÍDRICO URBANO	FENÓMENOS EXISTENTES	GESTIÓN DEL BALANCE HÍDRICO	GESTIÓN DEL CONSUMO	GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	GESTIÓN SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	VULNERABILIDAD	CORTO PLAZO	MEDIANO PLAZO	LARGO PLAZO
Urbanización	Normalización de barrios de origen informal en <i>Centralidad Santo Domingo</i>	Aumento en el volumen y velocidad de la escorrentía superficial. Colmatación del terreno por infiltración no gestionada	Aumento de la demanda de agua externa	Aumento de la contaminación difusa. Aumento del volumen de efluentes.	Baja índice de áreas verdes por habitante. Deterioro de la cobertura vegetal de cerro Santo Domingo. Pérdida de biodiversidad	Necesidad de obras para mejorar la calidad constructiva y la habitabilidad de las	Disminuir la vulnerabilidad de la población asentada en el cerro Santo Domingo ante deslizamientos, inundaciones y riesgo sanitario. Dotar a la centralidad Santo Domingo de un proyecto demostrativo ambiental.	Mejorar la calidad constructiva de la vivienda. Disminuir la superficie impermeable en el área urbanizada. Sensibilizar en temas ambientales a la comunidad de la centralidad Santo Domingo	Liberación completa del Cerro Santo Domingo. Conformación de un borde de ciudad definido. Dotar de servicios ecosistémicos a la población. Rehabilitación integral de las construcciones
	Alto riesgo de deslizamiento. Alto riesgo de colapso de las construcciones. Escasas condiciones de habitabilidad								
	Riesgo de inundación								
Importación de agua	Agua de uso doméstico proviene exclusivamente de la empresa de acueducto y Alcantarillado EPM	Aumento del volumen de agua importada.	Aumento de la huella hídrica territorial y mayor presión sobre territorios de suministro		Aumento de presión en los sistemas de suministro	Alta dependencia de la red de suministro, la cual es de origen informal y presenta baja calidad constructiva	Disminuir el volumen de agua importada. Promover estrategias para disminución del consumo	Diversificar fuentes de suministro de agua. Reparar y rehabilitar infraestructura de suministro. Promover tecnologías de bajo consumo	Generar resiliencia en el suministro de agua potable. Conformar sistemas socio técnicos centralizados y descentralizados para la gestión del recurso. Promover reciclaje de agua grises. Consumo mínimo
Suministro de agua	Red de suministro deficiente	Aumento de filtración por pérdidas de la red de suministro	Altos porcentajes de pérdida del recurso por el mal estado de la red de suministro	Posibilidad de contaminación de agua de suministro por filtraciones del terreno	Posibilidad de contaminación del agua de suministro por filtraciones				
Evotranspiración	Deterioro y disminución de la cobertura vegetal general de la microcuenca	Disminución de la evotranspiración y de la retención		Aumento de la erosión y generación de problemas de sedimentación	Pérdida de área verde y presencia de erosión	Aumento de la erosión de la microcuenca. Aumento de la permeabilidad del suelo en áreas con riesgo de deslizamiento	Aumentar la evotranspiración en la centralidad mediante el parque ambiental	Gestionar el balance hídrico del territorio mediante áreas verdes	Habilitar áreas verdes como espacios de gestión del balance hídrico y de dotación de servicios ecosistémicos
Drenaje Urbano	Red de drenaje deficiente en área informal normalizada e inexistente en áreas de invasión en ladera del Cerro Santo Domingo	Aumento en el volumen y velocidad de la escorrentía superficial. Aumento de la filtración directa en terreno en áreas con riesgo de deslizamiento		Alto volumen de contaminación difusa	Deterioro generalizado de las condiciones ambientales de la cuenca urbana	Contaminación de agua subterránea. Colmatación del suelo. Generación de riesgo de deslizamiento	Estudiar la viabilidad de implementar sistemas de drenaje urbano sostenibles. Determinar la viabilidad de uso del agua de escorrentía para agricultura urbana y otros servicios urbanos	Construir sistemas de drenaje sostenible en el área urbanizada de la centralidad santodomingo. Minimizar la contaminación difusa	Implementación generalizada de sistemas de drenaje Sostenible. Eliminación de la contaminación difusa. Almacenamiento de agua lluvia en depósitos temporales para usos urbanos comunitarios y particulares
Colectores de Aguas Servidas	Sistema de colectores de carácter informal. Se realizan vertimientos directos en la quebrada sin ningún tratamiento previo	Aumento del volumen de efluentes contaminantes		Altos niveles de contaminación en la quebrada		Generación de enfermedades relacionadas con la contaminación del agua	Construir colectores separativos para el área urbana de la Centralidad Santo Domingo.	Construir colectores separativos en el área urbana de la Centralidad Santo Domingo. Complementar su funcionamiento con sistemas verdes.	Construcción de un sistema de colectores utilizando sistemas verdes y minimizando la necesidad de estructura gris
Gestión de agua lluvia	Inexistente	Aumento en el volumen y velocidad de la escorrentía superficial de baja calidad	Posibilidad de diversificar fuentes del recurso desaprovechada	Alta contaminación de la quebrada	Desaprovechamiento de la fuente hídrica	Desaprovechamiento de la fuente hídrica	Estudiar la viabilidad de gestionar el agua lluvia mediante sistemas de almacenamiento para usos domésticos no potables. Estudiar la viabilidad del uso de sistemas de drenaje sostenibles que minimicen la existencia de reboses	Gestionar adecuada de agua lluvia tanto en edificaciones como en espacio público. Almacenaje y uso comunitario del agua	Generar el máximo de resiliencia en el suministro de agua mediante sistemas de gestión de agua lluvia. Generar una gestión comunitaria del recurso
Tratamiento de reboses	Inexistente	Aumento del volumen de efluentes contaminantes	Aumento de la huella hídrica gris		Deterioro generalizado de las condiciones ambientales de la cuenca urbana	Generación de enfermedades relacionadas con la contaminación del agua	Estudiar la viabilidad para tratar las aguas residuales domésticas mediante sistemas de fitodepuración. Promover el uso de estrategias para minimizar la generación de efluentes.	Minimizar la generación de efluentes. Generar un sistema de tratamiento de efluentes mixto (Sistemas de tratamiento de aguas residuales)	Minimizar la máxima la generación de efluentes. Desarrollar un sistema de tratamiento de efluentes basados en tecnologías verdes. Minimizar al máximo la necesidad de estructuras grises
Tratamiento de aguas residuales	Inexistente								



**CUADRO SISNTESIS POT**

	Problemática	Objetivos	Estrategias	Programas	Proyectos	Herramientas	
<b>Tecnico</b>	Carencia de espacio público estructural y baja calidad ambiental.	Convertir el espacio público en el elemento principal del sistema estructurante urbano, factor clave del equilibrio ambiental y principal escenario de la integración social y la construcción de ciudadanía.	Reorientar la relación de la ciudad con el río, potenciando su integración urbanística y recuperando su valor ambiental y sus posibilidades de efectiva apropiación como espacio público.  Integrar efectivamente al desarrollo urbanístico las quebradas y los cerros tutelares, mejorando su aporte a la calidad ambiental y del espacio público de la ciudad.  Valorar, proteger y preservar el patrimonio ambiental de la ciudad.	POMCA (Plan de ordenamiento y mejoramiento de la cuenca Aburra) PIOM (Plan integral de ordenamiento de microcuencas)	<b>Integración urbana del río y quebradas afluentes.</b> Proyecto orientado a detectar oportunidades específicas de intervención en el corredor del río, tendientes a elevar su calidad espacial y paisajística, y su adecuada integración con los desarrollos urbanísticos y las centralidades aledañas, incluyendo las estaciones del metro y mejorando la vinculación entre los costados oriental y occidental de la ciudad. Se incluyen en este proyecto las quebradas que tienen definido un estudio de Ordenamiento de Microcuencas. Entre las prioritarias se <b>Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos:</b> Proyecto con el que se pretende avanzar en el saneamiento del Río Medellín o Aburrá. Incluye la construcción de colectores e interceptores y la disposición final de las aguas residuales descargadas por el sistema público de alcantarillado, el cual será ejecutado por la empresa prestadora del servicio del alcantarillado del Municipio y con un horizonte mínimo de 10 años para su ejecución. Estará articulado con los objetivos y metas de calidad y uso del recurso que define la Autoridad Ambiental		
	Crecimiento desordenado y desarticulado de la ciudad, expansión informal en zonas de alto riesgo.	Orientar el crecimiento de la ciudad hacia adentro y racionalizar el uso y ocupación del suelo.	Frenar el crecimiento en los bordes de la ciudad que presentan altas restricciones naturales al desarrollo.		<b>Conformación de bordes de protección.</b> Orientado a proteger ambiental y paisajísticamente los bordes superiores de las laderas oriental y occidental de la ciudad, mediante la configuración de unos cordones verdes que actúen como contenedores del desarrollo urbano. Hacia este objetivo se procurará canalizar acciones de		
	Altos niveles de contaminación del sistema hidrográfico ocasionado por la descarga directa en algunas zonas de la ciudad y por la invasión de los cauces	Encaminar las acciones de manejo del sistema hidrográfico del Municipio a la conservación, la protección y el ordenamiento de las áreas y elementos naturales que lo conforman mediante la regulación de usos del suelo compatibles y tratamientos especiales tendientes a la preservación y recuperación de cuencas y fuentes de agua.	Revegetalización y reforestación, identificación y manejo de zonas de nacimientos y recarga, cercamientos y señalización adecuada de áreas para la construcción de sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales, obras de control de la Reubicación de viviendas ubicadas en zonas de alto riesgo hidrológico, señalización de áreas de retiro, campañas de prevención,	POMCA (Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca Aburra) y PIOM (Plan integral de ordenamiento de microcuencas)	Se proponen parques lineales en algunas quebradas que por sus características topográficas, morfológicas y ambientales presentan posibilidades de adecuación de sus retiros para el disfrute y goce pasivo, al igual que sobre aquellos parques que sean propuestos por un estudio de ordenamiento y manejo de las microcuencas, realizados por la Administración Municipal o la entidad		
	Altos niveles de riesgo de la población ubicada en asentamientos informales en zonas vulnerables.	Reducir las condiciones de riesgo en las poblaciones de manera que no se constituya en limitación para el desarrollo convirtiéndose en un elemento básico en el proceso de ordenamiento territorial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación de análisis del riesgo.</li> <li>Concepción y aplicación de medidas de prevención y mitigación.</li> <li>Fortalecimiento de las instituciones encargadas de la prevención y mitigación del riesgo y de la atención de los desastres.</li> <li>Protección financiera mediante la transferencia o retención del riesgo.</li> </ul>				
<b>Socio-Economico</b>	Conurbación, desestructuración de los bordes de ciudad provocando cambios en la estructura física y económica de la zona rural.	Fundamentar el desarrollo rural en la productividad ambiental protegiendo sus recursos naturales, su paisaje, su producción tradicional sostenible y las características de su hábitat.	<p>Matener en condiciones de sostenibilidad las actividades agropecuarias tradicionales.</p> <p>Promover nuevas actividades económicas relacionadas o compatibles con la función ambiental, tales como la reforestación, agricultura</p> <p>Controlar los procesos de urbanización y el excesivo fraccionamiento del suelo.</p>				
	Altísimo déficit de vivienda.	Las soluciones habitacionales deben ser integrales, integradas e integradoras, deben enfrentar los problemas y las soluciones en todas sus dimensiones, en forma sistemática y sostenible en el largo plazo, con visión estratégica. La política habitacional en el contexto del desarrollo					
<b>Dimension ambiental</b>	Agotamiento del componente natural por factores antropicos como la expansión urbana sin planificación, la contaminación e invasión.	Valorar el medio natural como elemento estructurante principal del ordenamiento territorial y componente esencial del espacio público.	<p>Privilegiar una función ecológica equilibrante y la productividad ambiental en la zona rural y las zonas urbanas de valor ambiental.</p> <p>Establecer relaciones espaciales efectivas entre las zonas urbana y rural mediante la adecuada integración de los elementos naturales y agropecuarios al paisaje, el espacio público y al patrimonio cultural.</p> <p>Limitar el crecimiento de la ciudad sobre los bordes de características restrictivas al</p>		<b>Saneamiento hídrico en la zona rural: aguas residuales.</b> Proyecto de agua potable y saneamiento básico, orientado a evitar que se sigan contaminando las aguas superficiales y subterráneas de la zona rural, fuente potencial de abastecimiento de acueductos rurales y urbanos. Mediante el convenio Municipio de Medellín – Empresas Públicas, se está desarrollando el programa de sostenibilidad y manejo de cada uno de los acueductos rurales y suburbanos del Municipio, así como la optimización y ampliación de los sistemas de acueducto		
	Falta de visión y de un proyecto común a escala metropolitana y regional relacionado con los ecosistemas estratégicos compratidos por los diferentes municipios.	Las intervenciones y participación del Municipio de Medellín en los Ecosistemas Estratégicos se establecerán teniendo en cuenta la priorización de los servicios ambientales que estos generan y serán consecuentes con las políticas, programas y proyectos que se definan en las instancias metropolitanas, regionales y departamentales.	<p>Se priorizaron los servicios ambientales de los Ecosistemas Estratégicos de carácter municipal así:</p> <p><b>Prioridad 1.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Generan barreras naturales para el control de la expansión urbana.</li> <li>Mantienen la conectividad ecológica.</li> <li>Proveen la diversidad paisajística y lugares de esparcimiento y educación ambiental.</li> </ul> <p><b>Prioridad 2.</b></p> <p>En la escala Metropolitana se priorizaron los servicios ambientales de los Ecosistemas Estratégicos para el municipio de Medellín, así:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mantienen la conectividad ecológica.</li> <li>Proveen diversidad paisajística y lugares de esparcimiento y educación ambiental</li> <li>Fijan el carbono y gases de invernadero.</li> </ul> <p><b>Prioridad 2.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Generan barreras naturales</li> </ul> <p>En la escala Regional se priorizaron los servicios ambientales de los Ecosistemas Estratégicos para el Municipio de Medellín, así</p> <p><b>Prioridad 1.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mantienen la conectividad ecológica.</li> <li>Regulan y sirven de abastecimiento hídrico.</li> <li>Generan de energía eléctrica.</li> <li>Conservan la biodiversidad.</li> </ul> <p><b>Prioridad 2.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fijan el carbono y gases de invernadero.</li> <li>Generaran barreras naturales para el control de la expansión urbana.</li> </ul>				

**CUADRO SINTESIS POMCA**

	Problemática	Objetivos	Estrategias	Programas	Proyectos	Herramientas	
Técnica	Crecimiento urbano desestructurado.	Identificar, controlar y mitigar el riesgo generado por las amenazas naturales y los impactos antropogénicos.	Remediación, mitigación y prevención de la contaminación del suelo.	Manejo de corrientes en la cuenca del río Aburra.	Mantenimiento y rehabilitación de obras, cauces y zonas de retiro.  Cartilla de diseño de obras hidráulicas (captaciones, vertimientos, manejo de taludes, canales, estructuras complementarias de Oferta y demanda del material de arrastre.  Ampliación de la Red de Calidad del Aire-REDAIRE  Cupos transferibles de emisión  Incorporación de la		
	Deficiente manejo integral de los residuos.						
	Dependencia hídrica y uso irracional del agua.	Prevención, mitigación, control y monitoreo de la contaminación de los recursos naturales en la cuenca del río Aburra	Formulación e implementación del plan de mejoramiento de la calidad del agua del río Aburra desde sus afluentes.	Manejo de corrientes en la cuenca del río Aburra.			
	Muy alto deterioro de la calidad del agua.						
	Alta intensidad de contaminación atmosférica por zona geográfica.	Generación de conocimiento sobre la evolución natural de la cuenca e información ambiental pública, pertinente y actualizada de la cuenca del río Aburra.	Creación, implementación y regulación del uso de tecnologías limpias en la industria y el transporte	Manejo de la calidad del aire para la cuenca del río Aburra			Efectos locales del cambio climático en la cuenca del río Aburra
	Intervención institucional poco estructurante.						
	Intervención de las corrientes sin una concepción sistémica.	Planeación, seguimiento y control eficaz de los procesos y recursos.	Homologación de criterios de planeación.	Sistema de información geográfica de la cuenca del río Aburra			Modelamiento de la escorrentía superficial ante eventos extremos de lluvia en una cuenca piloto urbana.
	Explotación informal y alta impermeabilización de zonas de recarga.						
Socio-económico	Baja calidad de vida	Integración efectiva comprometida, transparente y participativa de los actores.	Construcción de una red de gestión ambiental. Articulación de los actores Promoción de la participación de todos los actores.	Gestión ambiental interinstitucional coordinada y efectiva.			
		Educación integral con énfasis en el manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.	Formación de formadores. Promoción de la educación ambiental.	Cultura de la cuenca del río Aburra.			
Componente ambiental	Reducción de la capacidad de los ecosistemas locales para mantener la estructura y función esencial de los mismos.	Ordenamiento de los recursos naturales	Reglamentación, ordenación y control del uso del agua y el suelo.	Equidad para uso y aprovechamiento eficiente del recurso agua.	Creación de un centro de investigación, capacitación y asesoría para acueductos comunitarios de la cuenca. Actualización de la red hídrica, reglamentación del uso del agua y ordenamiento de las cuencas afluentes del río Aburra.		
	Dependencia hídrica y uso irracional del agua.			Criterios para una explotación minera adecuada en la cuenca	Implementar sistemas no convencionales de recolección, transporte y tratamiento de aguas residuales domésticas para la zona urbana y rural de la Implementación de sistemas unitarios de tratamiento de aguas residuales para las zonas rurales con baja densidad poblacional en la cuenca del río Estudio de los impactos ambientales de los sitios de		
				Muy alto deterioro de la calidad del agua.			Evaluación ambiental estratégica para el aprovechamiento sostenible de los recursos mineros en la
	Sobre y subutilización del suelo como recurso al interior de la cuenca.			Mejoramiento en el estado de conservación de la cuenca del río Aburra, financiando un conjunto de actividades destinadas a lograr tal fin.	Recuperación de zonas degradadas.		Intervención integral en zonas degradadas
		Armonía, Ambiente y Territorio.	Recuperación de cauces y zonas de retiro.		Recuperación de la calidad del río Aburra desde sus afluentes.		Recuperación ambiental de sitios de disposición final de residuos sólidos clausurados o en proceso de clausura
	Indentificación, evaluación, definición e implementación de los programas para el pago por servicios ambientales a partir de un análisis costo-beneficio.		Conservación de la diversidad biológica.	Desarrollo de estrategias de manejo desde la ecología del paisaje en la cuenca del	Desarrollo de estrategias de gestión ambiental de los ecosistemas de la cuenca del río Aburra		Estructura del paisaje y base natural estructurante en la cuenca del río Aburra  Consolidación de la estructura base natural en la cuenca del río Aburra Manejo integral de áreas de manejo especial, que garanticen el uso sostenible de los RNR de la cuenca del río Control del saqueo y tráfico de flora y fauna silvestre nativa de la cuenca del río Aburra
		Programa de pago por servicios ambientales		Desarrollo de estrategias de biología de la conservación para el manejo de la cuenca del río Aburra	Desarrollo de estrategias de biología de la conservación para el manejo de la cuenca del río Aburra		Recuperación de áreas de manejo especial de la cuenca del río Aburra  Estudios de biología de conservación para recuperación de poblaciones silvestres nativas de la cuenca del río
					El hábitat en la nueva ruralidad		Lineamientos para el modelo de ocupación territorial del suelo rural metropolitano  Las centralidades en las áreas rurales  El hábitat rural Sostenible  Protección al agro metropolitano  Normativa para el hábitat en la nueva ruralidad metropolitana
		Pago por servicios ambientales hídricos para la cuenca del río Pago por servicios ambientales por belleza escénica y paisajística					

CUADRO SINTESIS PIOM						
	Problemática	Objetivos	Estrategias	Programas	Proyectos	Herramientas
Técnico	Urbanización e invasión de los canales y zonas aledañas.	Generar y definir las acciones concretas para la protección y la gestión de los recursos naturales, partiendo de la realidad de la microcuenca y construyendo acciones de futuro acordes con las intenciones concertadas de los actores en cinco fases: diagnóstico; prospectiva; formulación; ejecución; seguimiento y evaluación.	Planificación de espacios residuales a partir de la consolidación de un sistema de espacios naturales	Estabilización de Taludes		
	Aprovechamiento de la red hídrica como lugar de descarga de aguas residuales y el depósito de basuras.			Revegetalización		
	Red de alcantarillado convencional no apta para lugares con altas pendientes.			Construcción de obras biomecánicas (Trinchos, terrazos)		
	Generación de olores desagradables.			Reubicación de viviendas		
	Apariencia desagradable de la cuenca.		Generación de actividades productivas para una mayor apropiación comunitaria.	Mejoramiento de senderos.		
	Desfiguración del paisaje.			Silvicultura urbana.		
	Amenaza sísmica media y alta			Cultivo de vegetación ornamental en terrazas.		
	Improvisación en la ubicación de centros de acopio de residuos sólidos a cielo abierto.			Mejoramiento de suelos.		
Socio-económico	Riesgo de pérdidas humanas por estar ubicados en zonas de alto riesgo o llanuras de inundación.	Identificar de forma concertada las problemáticas más sentidas de la comunidad con relación a la quebrada la Herrera y reunir las soluciones propuestas por esta, susceptibles de ser incluidas en el Plan de				Talleres de participación ciudadana
Dimensión ambiental	Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.	Generar y definir las acciones concretas para la protección y la gestión de los recursos naturales, partiendo de la realidad de la microcuenca y construyendo acciones de futuro acordes con las intenciones concertadas de los actores en cinco fases: diagnóstico; prospectiva; formulación; ejecución; seguimiento y evaluación.	Implementación de planes de manejo de laderas y planes de reforestación.	Protección de zonas de afloramientos de agua		
	Desaparición de la vida acuática.			Construcción de colectores.		
	Pérdida de la cobertura vegetal y erosión del suelo.			Plan de siembra de especies nativas en laderas y corrientes de agua.		
	Deficit del componente arboreo asociado a los espacios públicos presentes en este sector y no se registra una planificación o manejo de la actual cobertura vegetal asociada a la microcuenca y a los					
	Escasa vegetación protectora en algunos afloramientos de agua.					

CUADRO SINTESIS MEP						
	Problemática	Objetivos	Estrategias	Programas	Proyectos	Herramientas
Técnico	Deficiente calidad de diseño y de construcción del espacio público basado principalmente en intervenciones no sistémicas con una visión singular de la problemática, que en la mayoría de los casos, no obedece a criterios de calidad, seguridad, sostenibilidad, durabilidad, economía y funcionalidad.	Definir los parámetros de diseño y de construcción de los componentes básicos del espacio público, desde todas sus dimensiones, particularmente, desde los aspectos técnicos y funcionales, con soluciones para los casos típicos de diseño.  Proporcionar herramientas para controlar la creación, intervención, adecuación, transformación y construcción del espacio público y para resolver los problemas operativos básicos.	Construir el espacio urbano con calidad, tanto física como ambiental y espacial.  Manejo integral de accesibilidad para el peatón y en especial para los discapacitados motrices y Sostenibilidad a partir de la utilización de materiales que tengan vida útil prolongada, mantenimiento reducido y que  Utilización de materiales típicos, de producción masiva y prolongada en el tiempo, que permitan una fácil y adecuada reparabilidad.			Las herraminetas y parámetros de amoblamiento urbano, estandarización de dimensiones, piezas y elementos prefabricados en concreto para la construcción de los diferentes componentes del espacio público.
Socio-económico						
Componente ambiental						