



**018530 - SWITCH**

**Sustainable Water Management in the City of the Future**

Integrated Project  
Global Change and Ecosystems

**Minimizaci3n y prevenci3n como estrategia  
para el control de la contaminaci3n por aguas  
residuales municipales en la zona de expansi3n  
de Cali**

Due date of deliverable: January, 2011

Actual submission date: January, 2011

Start date of project: 1 February 2006  
months

Duration: 60

Lead partner: UNIVALLE

Revision: final

Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006)		
Dissemination Level		
PU	Public	
PP	Restricted to other programme participants (including the Commission Services)	
RE	Restricted to a group specified by the consortium (including the Commission	
CO	Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	x

**MINIMIZACIÓN Y PREVENCIÓN COMO ESTRATEGIA PARA EL CONTROL DE LA  
CONTAMINACIÓN POR AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN LA ZONA DE  
EXPANSIÓN DE CALI**

**DIANA ALEXANDRA ZAMBRANO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE RECURSOS NATURALES Y DEL MEDIO AMBIENTE  
MAESTRIA EN INGENIERIA – ÉNFASIS EN SANITARIA Y AMBIENTAL  
SANTIAGO DE CALI  
2010**



**MINIMIZACIÓN Y PREVENCIÓN COMO ESTRATEGIA PARA EL CONTROL DE LA  
CONTAMINACIÓN POR AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN LA ZONA DE  
EXPANSIÓN DE CALI**

**DIANA ALEXANDRA ZAMBRANO**

Trabajo de investigación para optar al título de Magister en Ingeniería: área de énfasis en  
Ingeniería Sanitaria y Ambiental

**DIRECTOR**

**ALBERTO GALVIS C.**

Ingeniero Sanitario M.Sc  
Universidad del Valle

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**FACULTAD DE INGENEIRIA**

**ESCUELA DE RECURSOS NATURALES Y DEL MEDIO AMBIENTE  
MAESTRIA EN INGENIERIA – ÉNFASIS EN SANITARIA Y AMBIENTAL  
SANTIAGO DE CALI**

**2010**

## TABLA DE CONTENIDO

### **1 INTRODUCCIÓN**

### **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **3 ANTECEDENTES**

### **4 OBJETIVOS**

#### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

#### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

### **5 MARCO CONCEPTUAL**

#### **5.1 MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO HÍDRICO MIRH**

#### **5.2 SOSTENIBILIDAD**

#### **5.3 CICLO URBANO DEL AGUA**

#### **5.4 SANEAMIENTO CENTRADO EN EL HOGAR**

#### **5.5 PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA - PML**

### **6 AREA DE ESTUDIO: ZONA DE EXPANSIÓN CORREDOR CALI JAMUNDÍ**

#### **6.1 LOCALIZACIÓN**

#### **6.2 CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL**

##### **6.2.1 TIPO DE SUELO**

##### **6.2.2 TOPOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA**

##### **6.2.3 HIDROLOGÍA**

##### **6.2.4 USO DEL SUELO**

#### **6.3 CARACTERIZACIÓN URBANA**

##### **6.3.1 MODELO DE OCUPACIÓN**

##### **6.3.2 PROYECCIÓN DE OCUPACIÓN**

##### **6.3.3 SISTEMA VIAL**

### **7 METODOLOGÍA**

#### **7.1 VISIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA**

#### **7.2 METODOLOGÍA MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

##### **7.2.1 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS**

- 7.2.2 PRESELECCIÓN DE ALTERNATIVAS Y FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS ACORDE AL CONTEXTO LOCAL
- 7.2.3 SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS
- 7.2.4 COMPARACIÓN DE ESTRATEGIA SELECCIONADA VS. ESTRATEGIA CONVENCIONAL
- 7.2.4.1 Beneficios y costos de las alternativas
- 7.2.4.2 Evaluación costo-beneficio

## **8 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **8.1 ASPECTOS GENERALES MINIMIZACIÓN Y PREVENCIÓN**

### **8.2 MINIMIZACIÓN Y PREVENCIÓN EN MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

- 8.2.1 CARACTERÍSTICAS Y USOS DEL AGUA A NIVEL RESIDENCIAL
- 8.2.2 CARACTERIZACIÓN DE ALTERNATIVAS
  - 8.2.2.1 Reducción en el origen
  - 8.2.2.2 Técnicas de reutilización en el sitio
- 8.2.3 FORMULACIÓN Y PRESELECCIÓN DE ESTRATEGIAS
- 8.2.4 ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS
  - 8.2.4.1 Demanda neta de agua potable
  - 8.2.4.2 Producción de aguas residuales
  - 8.2.4.3 Producción de aguas residuales-Demanda de aguas lluvias
  - 8.2.4.4 Generación de excesos de aguas lluvias
  - 8.2.4.5 Producción de carga de DBO y SST
- 8.2.5 SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE MINIMIZACIÓN Y PREVENCIÓN
  - 8.2.5.1 Definición y cálculo de criterios e indicadores de selección
  - 8.2.5.2 Aplicación de GRA-AHP
- 8.2.6 COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MINIMIZACIÓN Y PREVENCIÓN VS. ESTRATEGIA CONVENCIONAL
  - 8.2.6.1 Descripción opción convencional
  - 8.2.6.2 Identificación y cuantificación de beneficios
  - 8.2.6.3 Identificación y cálculo de costos
  - 8.2.6.4 Indicadores de viabilidad económica
- 8.3 MINIMIZACIÓN Y PREVENCIÓN EN MANEJO DE AGUAS DE DRENAJE

## **9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **9.1 CONCLUSIONES**

### **9.2 RECOMENDACIONES**

## **10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1 Aceptación social alternativas de minimización y prevención
- ANEXO 2 Pesos de criterios de selección
- ANEXO 3 Apoyo institucional alternativas de minimización y prevención
- ANEXO 4 Implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias
- ANEXO 5 Implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas grises
- ANEXO 6 Beneficios proyectados de implementar estrategias de minimización y prevención en la zona de expansión
- ANEXO 7 Pre-dimensionamiento, cantidad de obra y presupuesto infraestructura externa opción convencional y opción con minimización y prevención

## 1 INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente el agua potable se ha usado para la ingesta, el aseo personal y del hogar, la evacuación de excretas, el riego de parques y jardines. El efluente con o sin tratamiento es vertido en fuentes receptoras como ríos, lagos y océanos. Las precipitaciones que caen en el área urbana se recogen para posterior descarga en las fuentes receptoras. Estas prácticas generan un gran impacto al ambiente amenazando la sostenibilidad de los sistemas. La compartimentalización del ciclo urbano del agua en abastecimiento, saneamiento y drenaje ha generado resultados sub-óptimos llevando al reestablecimiento de los límites del sistema con la aplicación del concepto de manejo integral del recurso hídrico (MIRH) en áreas urbanas.

La aplicación del MIRH en áreas urbanas promueve aspectos como el uso eficiente y múltiple del agua urbana, teniendo en cuenta la producción más limpia en el contexto de la cuenca hidrográfica. Múltiples experiencias han mostrado que la implementación de estrategias orientadas al ahorro del agua como la instalación de aparatos de bajo consumo, el uso de las aguas grises y/o aguas lluvias, han disminuido considerablemente la producción de aguas residuales municipales representando beneficios económicos a lo largo del tiempo. De igual forma la gestión descentralizada del agua de escorrentía con sistemas de drenaje sostenible ha contribuido en el control de los volúmenes y la calidad del agua a disponer. La posibilidad de usar el agua en la fuente el cierre de los ciclos hacia su estado natural permite superar las desventajas y los impactos a los que ha llevado la gestión convencional.

Bajo esta conceptualización se adelanta el proyecto SWITCH "Sustainable Water Management Improve Tomorrow's Cities Health", avalado por el sexto programa marco de investigación y desarrollo tecnológico de la Unión Europea, liderado por UNESCO-IHE. SWITCH es un proyecto orientado al desarrollo, aplicación y demostración de soluciones y estrategias tecnológicas y socioeconómicas para contribuir a lograr un desarrollo efectivo y sostenible del manejo del agua en las zonas urbanas pensando en "la ciudad del futuro", con una proyección entre 30 a 50 años a partir de ahora. En SWITCH, Cali ha sido considerada como una ciudad de demostración, condición que no sólo facilita el acceso a datos sino la disponibilidad de actores, asesores e interesados en las temáticas de la investigación.

En el marco de este proyecto se desarrolla un modelo de selección de tecnología para la prevención y el control de la contaminación en el ciclo municipal del agua el cual retoma el enfoque de los tres pasos (Nhapi & Gijzen, 2005) no sólo en el ciclo urbano del agua, sino abordando la cuenca como unidad de análisis, incluyendo conceptos de producción limpia, minimización y prevención, tratamiento y reuso del agua residual, considerando la capacidad de autodepuración de la fuente receptora como parte del proceso de selección al igual que las características locales, la normatividad y la distribución espacio temporal de la contaminación, modelo que se desarrollará en la cuenca alta del río Cauca (Galvis, 2009).

Dentro de este modelo de selección surge esta propuesta de investigación, la cual tiene por objeto contribuir en la identificación, jerarquización y selección de estrategias para la gestión del agua en áreas urbanas que promuevan la sostenibilidad de las inversiones presentando alternativas de

minimización y prevención a través de la integración de las tres áreas de gestión del agua, abastecimiento, saneamiento y drenaje, como una opción para el control de la contaminación por aguas residuales municipales con énfasis en aspectos tecnológicos teniendo en cuenta como parte del proceso de selección aspectos sociales y económicos, características ambientales y urbanísticas, la distribución del agua en el tiempo, los múltiples usos y su localización en el área; concibiéndola además como una táctica aplicable a la gestión del agua en la zona de expansión de Cali la cual podrá ser replicable en ambientes urbanos similares.

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El impacto en la calidad del agua en los recursos h3dricos, generado por las descargas de las aguas residuales municipales, se ha convertido en un problema ambiental cr3tico y creciente, potencializado por el r3pido crecimiento poblacional, la urbanizaci3n y lo relacionado con las considerables cantidades de residuos generados, reflejado en la limitaci3n en su uso aguas abajo, ya que los vertimientos en cuesti3n alteran las condiciones de calidad del agua requerida para el abastecimiento de actividades espec3ficas (dom3stica, industrial, agr3cola, pecuaria, etc.) y la vida acu3tica.

Alrededor del 90% de las aguas servidas y el 70% de los desechos industriales en los pa3ses en v3as de desarrollo se descargan sin tratamiento alguno. En Latinoam3rica el 48% de la poblaci3n est3 conectada a sistemas de alcantarillado convencional y 31% a sistemas individuales, solo el 14% es tratada donde el 6% recibe adecuado tratamiento, con el agravante de la cantidad de recursos de inversi3n necesarios y su poca disponibilidad y capacidad de recuperaci3n v3a tarifa (EU-WI 2003; Soares et al. 2002).

En Colombia cerca de 1300 cuerpos de agua est3n siendo contaminados por los vertimientos municipales (MAVDT 2004). Gran parte del sistema h3drico andino colombiano se halla en proceso de alteraci3n por las grandes poblaciones all3 asentadas (IDEAM 2008) que descargan diariamente cerca de 700 Ton. de carga org3nica del sector dom3stico urbano (MAVDT 2004). Este deterioro de la calidad del agua limita su disponibilidad para el sostenimiento de los ecosistemas, la producci3n agr3cola e industrial y el abastecimiento para consumo humano (IDEAM 2008), encontr3ndose que el 25% de los municipios y 60% de la poblaci3n del pa3s afronta problemas medios, medios-altos y altos de disponibilidad de agua para consumo (PNUD 2009).

Para dar respuesta a esta situaci3n, la normatividad colombiana ha orientado las acciones de control de contaminaci3n en la implementaci3n de tasas o impuestos bajo el eslogan "el que contamina paga" y la centralizaci3n y depuraci3n de las aguas residuales en sistemas de tratamiento (STAR), suponiendo la transferencia del problema en el espacio y en el tiempo, sobre la base de un "enfoque de correcci3n", y m3s precisamente, sobre acciones "al final del tubo". Los requerimientos de descontaminaci3n no est3n orientados hacia los usos del agua y los objetivos de tratamiento (Gandini et al. 2005), ni consideran la capacidad de autodepuraci3n de las fuentes receptoras realizando exigencias de remoci3n de carga de manera est3ndar a los usuarios independiente del aporte contaminante que estos realicen. Estas medidas han generado poca efectividad a pesar de las altas inversiones, document3ndose una reducci3n promedio de la contaminaci3n de 26% para la DBO y 27% para los SST mostrando un fuerte rezago en el cumplimiento de las metas de descontaminaci3n (Londo3o and Parra 2007).

En cuanto a la contaminaci3n no puntual, la cual representa un 84% de la contaminaci3n org3nica total aportada, el Decreto 1594/1984 se3ala que deben cumplir con los requerimientos de vertimiento de las descargas puntuales; sin embargo las autoridades ambientales no han establecido normas

explícitas para vertimientos no puntuales y por ende estos no son controlados ni regulados (Londoño and Parra 2007).

En este marco, ciudades como Cali han desarrollado sus planes de descontaminación alrededor de la factibilidad de implementación de STAR: en la década de los 80 se propuso el desarrollo de tres sistemas (norte, sur y nor-oriental), propuesta que posteriormente fue modificada a la implementación de un solo sistema, centralizando las aguas residuales en el nor-oriental de Cali. Al año 2001 se puso en marcha la PTAR Cañaveralejo, infraestructura diseñada para manejar un caudal medio de 7.6 m<sup>3</sup>/s y máximo de 12.24 m<sup>3</sup>/s de los cuales al 2009 trata 6.2 m<sup>3</sup>/s hasta un nivel primario removiendo 63.3% de SST y 54.9% de DBO con un alto costo de inversión inicial y un costo de operación y mantenimiento del orden de \$9.696 millones de pesos por año (EMCALI 2007a), costos que son transferidos a los usuarios vía tarifa y que no han representado un impacto positivo en la calidad del agua del cuerpo.

Entre los inconvenientes que se afrontan en la operación de la PTAR de Cali, se encuentra las características de concentración entre media a diluida del afluente, consecuencia de las conexiones erradas, las deficiencias en la operación de las estructuras de separación de los sistemas de alcantarillado combinado y el uso de agua potable para todas las funciones domésticas, institucionales, comerciales e industriales, aun en actividades que no requieren la más alta calidad. Aunado a esta situación la PTAR genera un volumen de lodos de 34220 m<sup>3</sup>/año (EMCALI 2007b) con altas concentraciones de cloruro férrico el cual genera una demanda energética para su secado y limitaciones en su disposición o comercialización.

Con respecto al manejo de las aguas de escorrentía, estas no son responsabilidad directa de una institución o entidad de la ciudad. EMCALI presta el servicio de transporte, mantenimiento de la red de drenaje y operación de las estaciones de bombeo y no realiza ningún control sobre las características fisicoquímicas de las aguas pluviales ni lo tiene contemplado dentro de su plan de saneamiento. La creciente impermeabilización del área urbana (DAPM 2000) ha generado el aumento de los volúmenes de agua de escorrentía incrementando el impacto en los cuerpos receptores asociado a los efectos de primer lavado y la resuspensión de los sólidos que se da tanto en las áreas residenciales como en tuberías y canales (Vélez et al. 2006).

Para la solución del problema de gestión del agua han surgido estrategias con un enfoque integral en el cual se busca la disminución y control en origen de la contaminación que contribuyen en la disminución de las cargas de aguas residuales municipales a disponer promoviendo principios de producción limpia, uso eficiente del agua y la descentralización partiendo de la vivienda como unidad de planificación dentro del contexto de la cuenca hidrográfica superando las deficiencias de las prácticas insostenibles de gestión de recursos de los enfoques convencionales (Al-Jayyousi 2003; Bithas 2008; Coombes and Kuczera 2002; Cheng 2003; Franken 2007; Ghisi and Mengotti de Oliveira 2007; Gikas and Tchobanoglous 2009; Gleick 2000; Makropoulos et al. 2008b; Mitchell 2006; Nhapi and Gijzen 2005; Nhapi and Hoko 2004b; Roy et al. 2008; Siebel and Gijzen 2002).

Estas estrategias de gestión de agua, han mostrado resultados efectivos en control de contaminación en contextos similares al de la ciudad de Cali, y presentan factibilidad de ser

aplicadas en diferentes grados tanto en el área urbana consolidada y aún con mayor potencial en las áreas de futuro desarrollo como la zona de expansión de la ciudad denominada Corredor Cali-Jamundí considerando en su proceso de selección factores sociales y económicos, estrategias que pueden ser extendidas a áreas urbanas similares.

### 3 ANTECEDENTES

En el siglo XX tres principales fuerzas motrices impulsaron la enorme expansión de la infraestructura de los recursos hidráulicos: (1) crecimiento demográfico; (2) cambios en los niveles de vida; y (3) expansión de la agricultura de riego, generando el incremento de aguas residuales y de drenaje las cuales se han recogido y centralizado a través de los sistemas de alcantarillado, que generalmente son vertidas con o sin tratamiento a los cuerpos hídricos, contaminando las fuentes de agua trayendo como consecuencia la destrucción de ecosistemas, pérdida de biodiversidad, limitación en los usos asociados al riesgo en el abastecimiento de los usuarios aguas abajo generando pérdidas ambientales y económicas (Gleick 2000).

Internacionalmente, este enfoque convencional de satisfacción de la demanda y la tradicional centralización del abastecimiento, saneamiento y drenaje; diseñada y operada separadamente, han venido siendo cuestionados. La aceptación del manejo integral del agua urbana ha ocurrido globalmente durante los últimos 25 años, Marsalek et al, 2001, citado por (Mitchell 2006) soportada en la Agenda 21 de Río, 1991, la Visión Mundial del agua 2000 y la Cumbre de desarrollo sostenible en Johannesburgo en 2001.

En esta cumbre se propusieron los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), donde el objetivo 7 busca asegurar la sostenibilidad ambiental, a través de cuatro metas entre las que se encuentra reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas sin acceso sostenible a agua potable y a servicios básicos de saneamiento. En Colombia al 2019 las metas de los ODM establecen alcanzar una cobertura de alcantarillado de 97.6% para el ámbito urbano y 70.9% para el rural y en tratamiento de aguas residuales la meta alcanzar es 30% de cobertura urbana al año 2010 y 50% al año 2019 (WSP 2007) con una inversión de 2.256.775 millones de pesos (MAVDT 2007) en un país donde los recursos son escasos y es necesaria la priorización hacia inversiones que presente la mayor relación costo efectividad.

Este objetivo de sostenibilidad ambiental se encuentra en riesgo de lograr si se continúa con el enfoque convencional de satisfacción de la demanda asociado con el uso de altos volúmenes de agua, una misma calidad para todos los usos y la centralización del control de la contaminación exclusivo en los vertimientos puntuales a través del establecimiento de normas y la implementación de STAR, que generan la transferencia del problema en el espacio y en el tiempo pero no la solución del mismo, mostrando un bajo impacto en el mejoramiento de la calidad del agua de los cuerpos hídricos. De ahí la importancia de este trabajo de investigación que tiene por objeto presentar estrategias innovadoras para la gestión de las aguas residuales municipales a través de la disminución de la producción de cargas contaminantes en función de alcanzar el mayor costo efectividad de las inversiones en agua y saneamiento.

Como área de aplicación se considera el área de expansión de Cali. La selección de la estrategia de gestión del agua en esta área influye en el impacto a generar en la fuente receptora afectando los diversos usos que se le da, tanto en la ciudad como en las localidades ubicadas aguas abajo, además de las implicaciones económicas que conlleva.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo general

Contribuir al desarrollo de estrategias que optimicen el impacto de las inversiones en el control de contaminación por aguas residuales municipales en zonas urbanas de la cuenca alta del Río Cauca con énfasis en aspectos tecnológicos

### 4.2 Objetivos específicos

- Analizar la aplicación de alternativas de minimización y prevención como estrategia en el control de contaminación por aguas residuales municipales en la zona de expansión de la ciudad de Cali.
- Seleccionar una estrategia para el control de contaminación por aguas residuales que considere minimización y prevención viable de aplicar en la zona de expansión de la ciudad de Cali
- Comparar, para el caso de la zona de expansión de la ciudad de Cali, la estrategia seleccionada que considera minimización y prevención con una opción que solo considera la planta de tratamiento de aguas residuales (solución “al final del tubo”).

## 5 MARCO CONCEPTUAL

### 5.1 Manejo integrado del recurso hídrico MIRH

El concepto de Manejo Integrado del Recurso Hídrico, MIRH consiste en un proceso que promueve la administración y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales (GWP and TAC 2000). Mitchell (2006) presenta un resumen de los principales aspectos que contempla el MIRH (Coombes and Kuczera ; Mitchell 2006):

- Considerar las partes del ciclo del agua, tanto natural como construido, superficial y sub-superficiales, reconociéndolas como un sistema integrado.
- Considerar los requerimientos del agua tanto antropogénicos como ecológicos
- Considerar el contexto local, el balance ambiental, social, cultural, y las perspectivas económicas.
- Incluir todas las partes involucradas en la planificación y la toma de decisiones
- Promover la sostenibilidad, con el objetivo balancear los aspectos ambientales, sociales y económicos en el corto, mediano y largo plazo.

En el marco de este concepto se proponen enfoques relacionados con la gestión del agua urbana como parte integral de la cuenca (Maksimovic and Tejada-Guibert 2001) integrados con los usos múltiples del agua (Restrepo 2004). Al revisar el ciclo hidrológico se identifican componentes que se encuentran inter-relacionadas, donde las acciones que se lleve a cabo en alguna de estas, pueden generar directa o indirectamente una respuesta en la otra. La Figura 1 presenta un esquema de las componentes, su relación y los niveles en los cuales se presenta cada una, en un contexto ambiental, socioeconómico y cultural (Restrepo 2008).

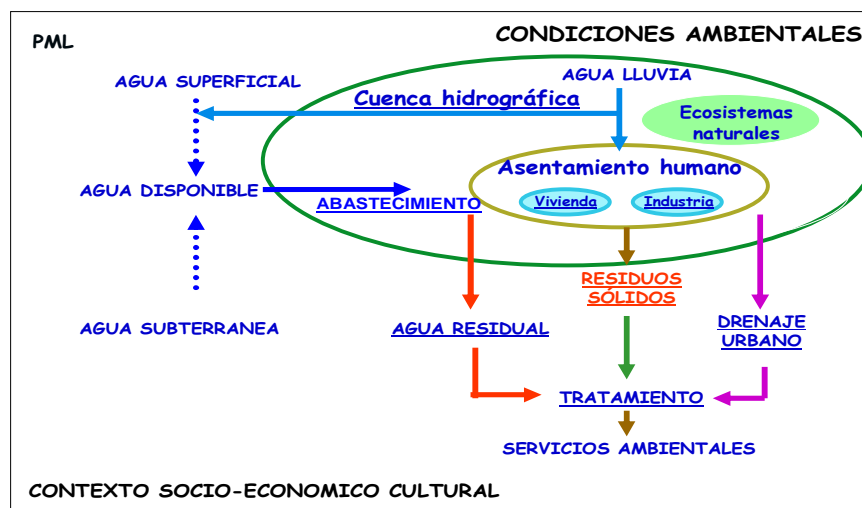


Figura 1 Gestión integral del agua en asentamientos nucleados  
Fuente: (Restrepo 2008)

## 5.2 Sostenibilidad

El concepto de sostenibilidad acuñado por primera vez por la Comisión Brundtland en 1987 (Our Common Future), hace referencia al crecimiento poblacional e industrial en concordancia con las limitaciones ambientales (Escriu and Vázquez 2006; Jonker 2002; Ward 2007). La sostenibilidad es un punto de partida para las discusiones relacionadas con gestión de los recursos naturales. Braden y Van Ierland, aplican este concepto al agua haciendo referencia al sostenimiento de la calidad y cantidad de recursos hídricos para el mantenimiento de los ecosistemas y el soporte de las necesidades humanas actuales y futuras (Braden and van Ierland 1999), Broadly citado por Bithas, lo define como los patrones de uso que satisfacen las necesidades de las generaciones presentes y futuras (Bithas 2008)

En este contexto la Unión Europea promueve la sostenibilidad a través del aprovechamiento óptimo de los recursos hídricos, en el cual se busca que el uso del recurso no sea excesivo, “desvinculando el crecimiento económico del uso de recursos (si es necesario crecer, hacerlo usando menos recursos), de minimizar la producción de residuos y de procurar al mismo tiempo que estos sean reciclables o reutilizables” (Escriu and Vázquez 2006; Nhapi and Gijzen 2005; Nhapi and Hoko 2004a). La clave para alcanzar la sostenibilidad en el uso de los recursos hídricos está en la combinación de elementos estructurales y no estructurales, medidas de control (tecnológicas, económicas e institucionales) que han mostrado eficiencia en la minimización de los impactos en la calidad del agua (Gleick 2000; Grace 2004; Mitchell 2006; Savenije and Van der Zaag 2002).

## 5.3 Ciclo urbano del agua

El ciclo urbano del agua (CUA) presenta la interrelación entre el ciclo del agua natural y la presencia de las actividades antropogénicas considerando los diversos usos que se le da al recurso hídrico. El ciclo urbano del agua comienza con la extracción de aguas (superficiales o acuíferos), el almacenamiento, potabilización y distribución en red a las áreas residenciales, comerciales e industriales. El agua potable se usa para la ingesta, el aseo personal y del hogar, riego de parques y jardines. Parte de esta agua es utilizada para el transporte de residuos a través de una red de alcantarillado hasta una planta de tratamiento, los efluentes son vertidos posteriormente en fuentes receptoras como ríos, lagos y océanos. Las precipitaciones que caen en el área urbana se recogen por medio de un sistema de drenaje para posterior vertimiento en las fuentes receptoras. En la Figura 2 se presenta un diagrama del ciclo descrito (Marsalek et al. 2006).

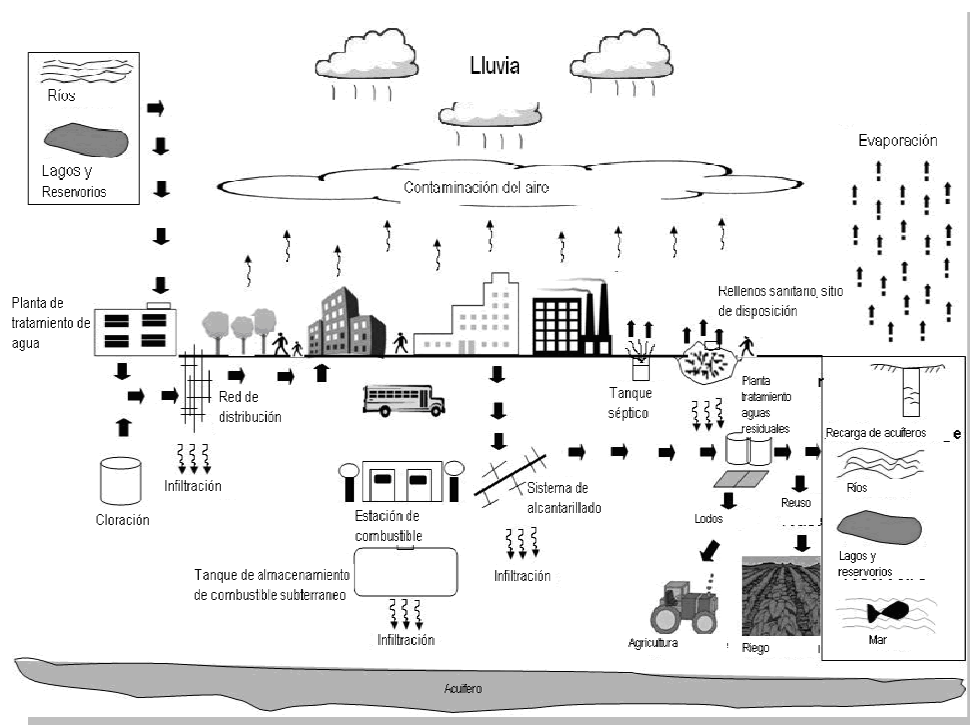


Figura 2 Ciclo urbano del agua  
Fuente: (Marsalek et al. 2006)

#### 5.4 Saneamiento centrado en el hogar

El saneamiento centrado en el hogar es una estrategia concebida por el Grupo de Trabajo de Saneamiento Ambiental del Agua Supply and Sanitation Collaborative Council (WSSCC) en un taller en Suiza en 1999, este enfoque ubica a la familia y el vecindario en el centro del proceso de planificación (Ver Figura 3) intentando superar las deficiencias de las prácticas insostenibles de gestión de recursos de los enfoques convencionales (Morel et al. 2003).

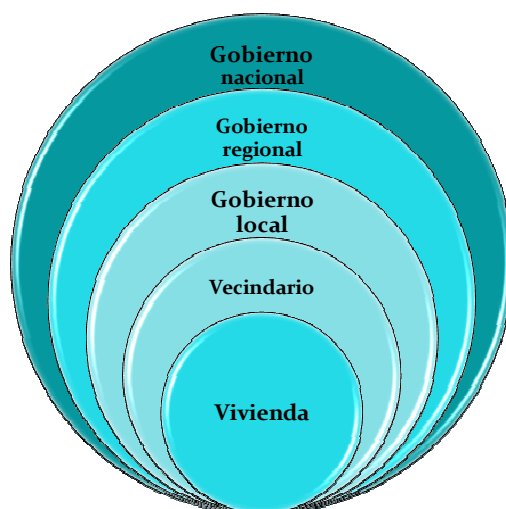


Figura 3 El saneamiento centrado en el hogar

Fuente: (Morel et al. 2003).

## 5.5 Producción más limpia - PML

La producción más limpia (PML) consiste en la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integral a procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia general y para reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente. La PML puede ser aplicada a procesos utilizados por unidad de producción, a los productos mismos y a varios servicios ofrecidos en la sociedad. Comprende conceptos como eco-eficiencia, prevención de contaminación y productividad verde (PNUMA 2006).

En el ciclo urbano del agua los elementos de la PML siguen siendo aplicados: la prevención de la contaminación, la selección de las materias primas, la eficiencia de los procesos, la reutilización y el reciclaje de materiales, ciclo de vida, y menor impacto en el tratamiento con la recuperación de recursos, la idea es ir más allá de la tradicional práctica de tratar y disponer los residuos que resultan de los procesos (Nhapi and Gijzen 2005; Nhapi and Hoko 2004a; Siebel and Gijzen 2002), los principios esenciales son: uso mínimo del recurso hídrico, no usar fuentes de agua de mayor calidad de la requerida, no mezclar las diferentes tipos de aguas residuales y evaluar otros usos de los subproductos del agua residual antes de considerar tratamiento y disposición final

## 6 AREA DE ESTUDIO: ZONA DE EXPANSI3N CORREDOR CALI JAMUNDÍ

### 6.1 Localizaci3n

La Zona de Expansi3n de la Ciudad de Cali es el 1rea de futuro desarrollo urbanístico del municipio de los pr3ximos ańos denominada Corredor Cali – Jamundí. Est1 localizado al sur de la ciudad, en el valle geogr1fico del rí0 Cauca en un 1rea de 1.669 ha (DAPM 2000), presentado en la Figura 4.

**Límites:** Norte: Carrera 48 y Carrera 50 (Canal Interceptor CVC)  
Sur: Carrera 141, Carrera 143 y Carrera 134  
Este: Calle 48, Calle 61(proyectada), Calle 60 y borde occidental del Cintur3n Ecol3gico.  
Oeste: Calle 18, Calle 25, Calle 42, Calle 48, borde occidental Cintur3n Ecol3gico y perímetro urbano propuesto.

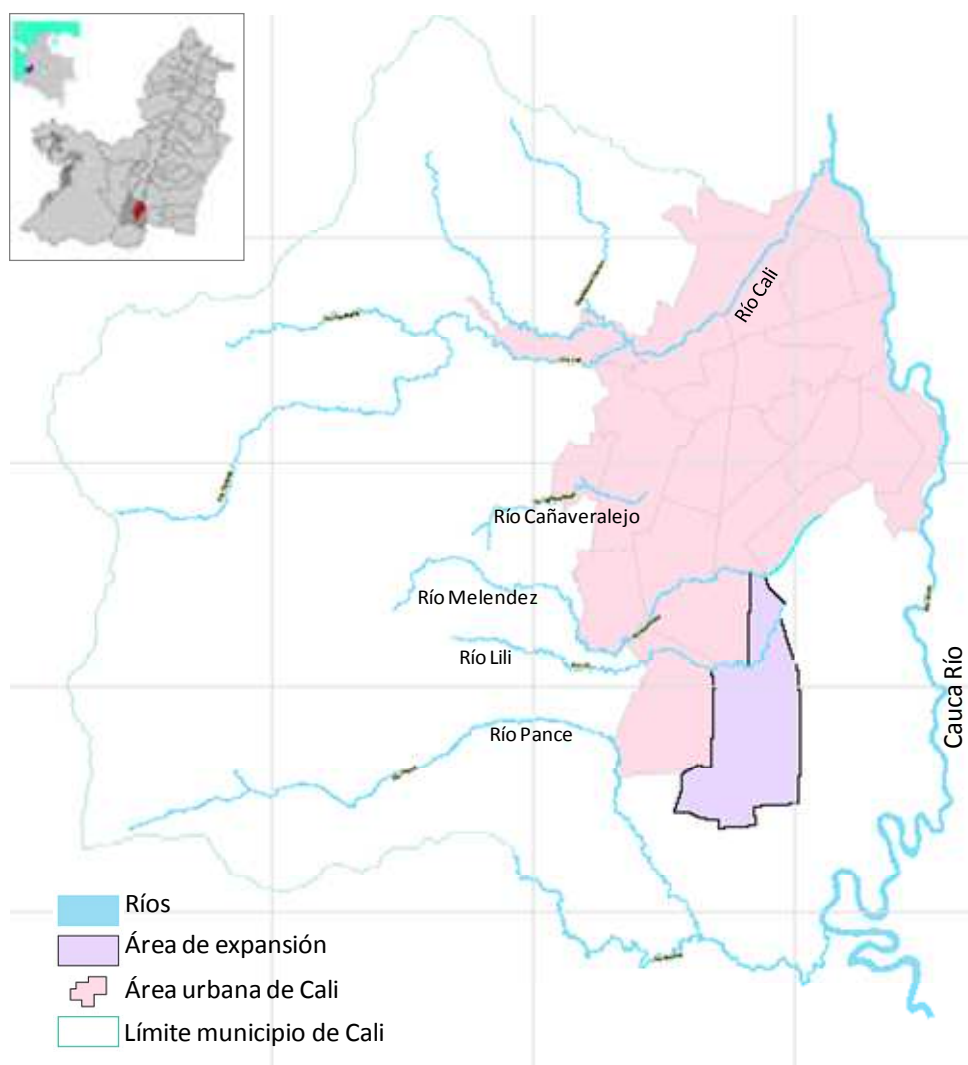


Figura 4 Localizaci3n zona de expansi3n: Corredor Cali-Jamundí

## 6.2 Caracterización ambiental

### 6.2.1 Tipo de suelo

Esta área está asentada en suelos de dureza media, presenta un bajo potencial de licuación y ampliación de la onda sísmica. Geomorfológicamente se distinguen dos unidades (Ver Figura 5).

Conos aluviales del río Pance. (Qd): presenta principalmente sedimentos grueso-granulares de tipo grava, con intercalaciones de materiales más finos, tipos limos y arcillas, niveles freáticos con profundidades mayores a los 8 m.

Zonas Resecadas y rellenos de cauces (Q5): áreas dentro de la llanura aluvial del río Cauca, predominan limos, con intercalaciones de gravillas y fragmentos, junto con algún porcentaje de material tipo arena con niveles freáticos a profundidades mayores a los 3 m.

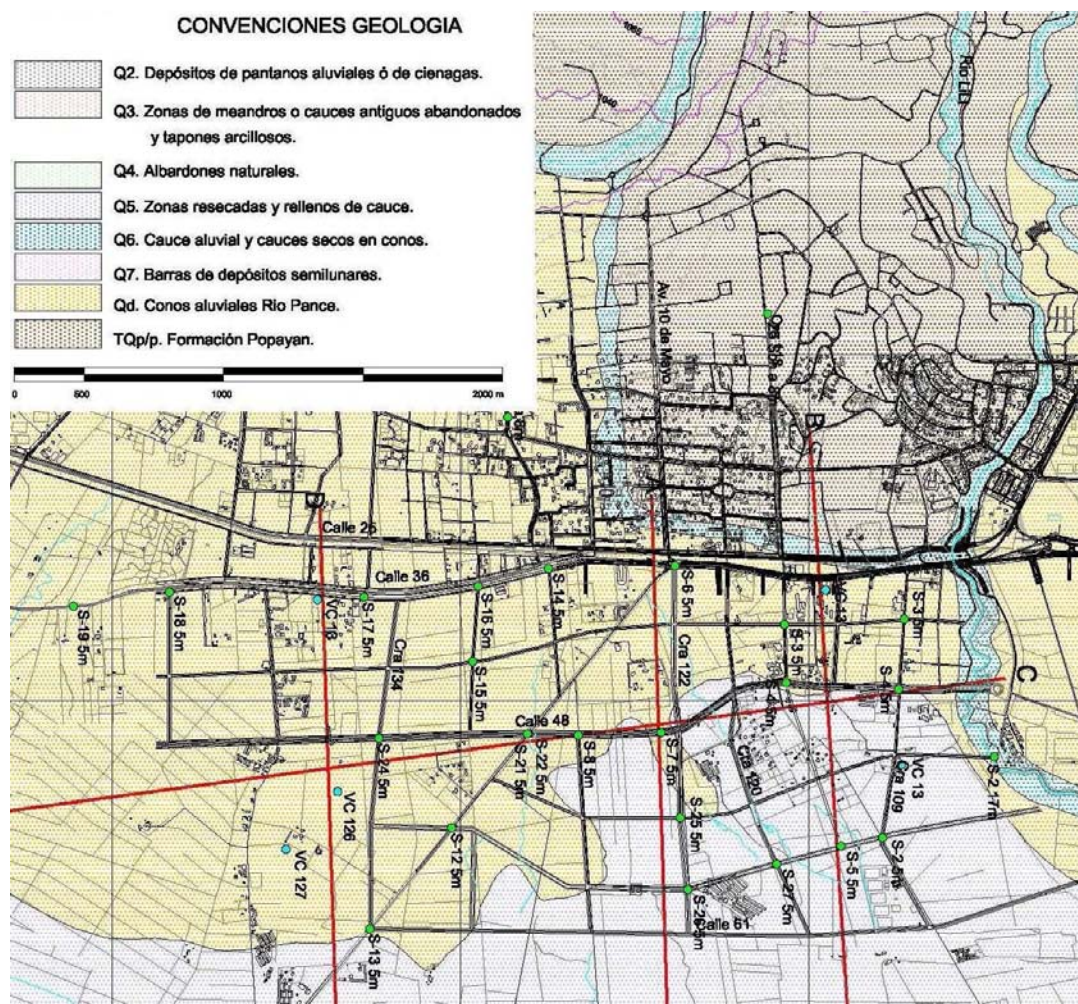


Figura 5 Geología zona de expansión de Cali Corredor Cali-Jamundi  
Fuente: (EMCALI and Hidrooccidente 2006)

## 6.2.2 Topografía e hidrografía

Las pendientes varían entre el 3% y 15%, lo cual presenta facilidad de drenaje hacia los ríos Cauca, Jamundí o Canal Sur. El terreno es de características planas con pendientes entre los 0 y 2 grados, la altura máxima en la zona se encuentra alrededor de los 1030 msnm y la mínima en 955 msnm. El área de estudio se encuentra por encima de los niveles de inundaci3n máxima registrada en la creciente del río Cauca ocurrida en el año 1950.

La zona de estudio está influenciada por los Ríos Lili el cual se encuentra localizado al norte, el Río Pance al este y el Río Cauca al oeste. En la Figura 6 se presentan las curvas de nivel del área de estudio y la ubicaci3n de los ríos mencionados.

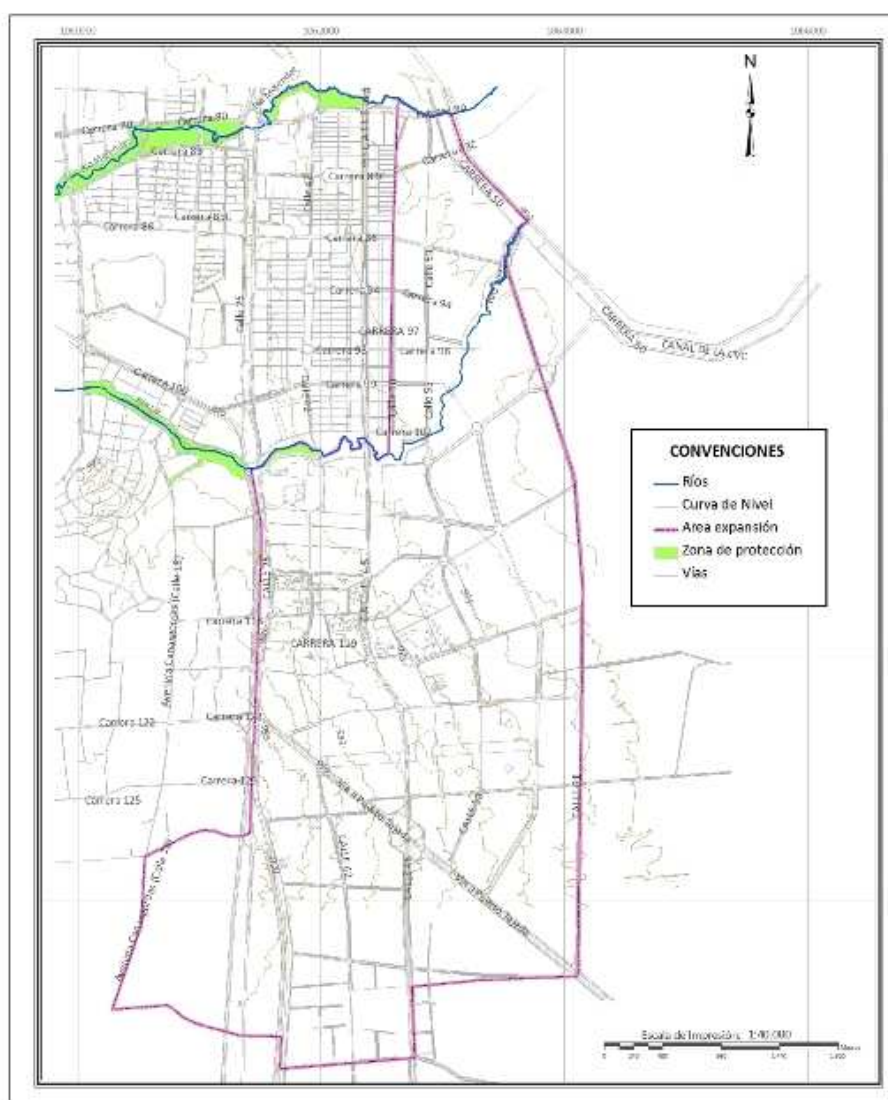


Figura 6 Topografía zona de expansi3n de Cali Corredor Cali-Jamundí

### 6.2.3 Hidrología

La zona de expansión se encuentra localizada en el área de drenaje de los ríos Jamundí y Lili. Climatológicamente presenta un comportamiento bimodal característico del Valle del Cauca, en términos de precipitación y evaporación. Con base en la distribución y análisis espacial la temperatura en el departamento, se estimó que en el área de estudio se la temperatura media oscila en un rango de 23 a 25°C (Figura 7).

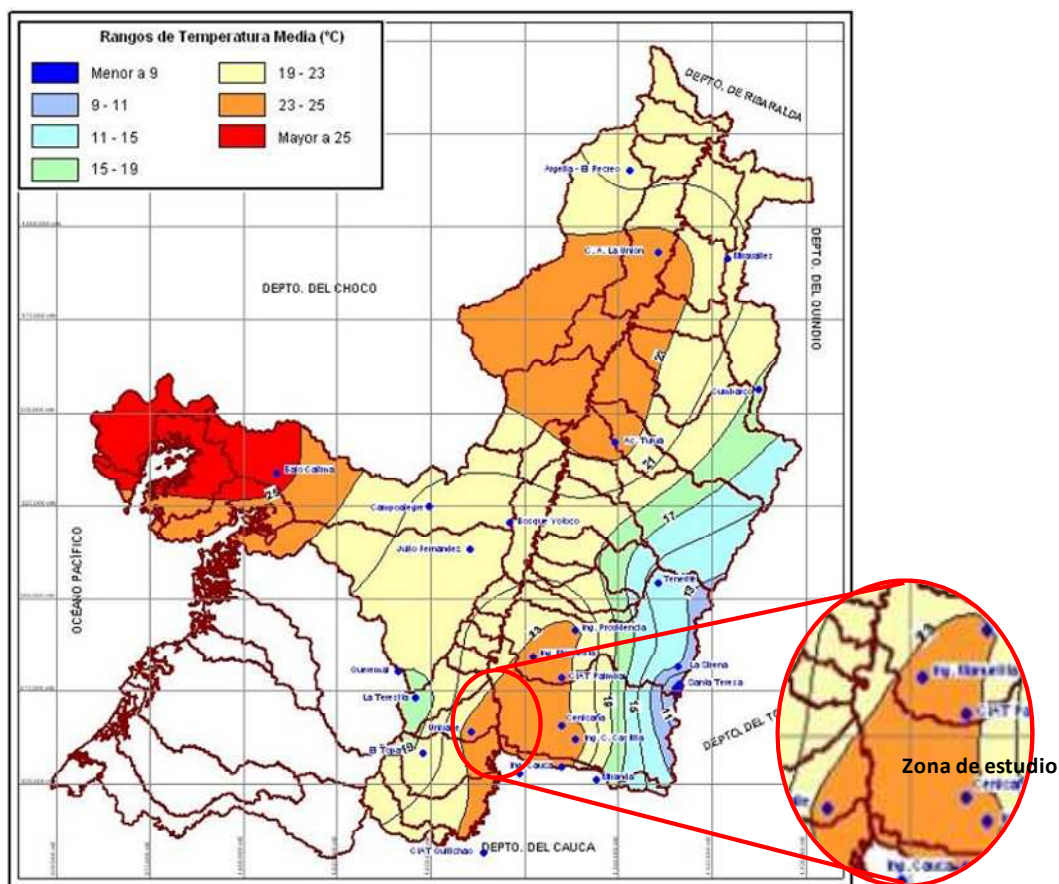


Figura 7 Isolíneas de temperatura en el departamento del Valle del Cauca.

Fuente: (CVC, 2007)

Para el análisis climatológico en la zona de estudio se tomó como referencia la estación El Palacio ubicada en la cuenca del río Jamundí, por presentar una alta correlación con la estación la Ladrillera (CVC, 2009), que es la estación representativa de la zona de estudio (Ver localización Figura 8). La estación La Ladrillera presenta un inconveniente por su limitado periodo de registro de datos de 17 años (1983-2000), a diferencia de la estación El Palacio que presenta un registro de 40 años (1970-actual), lo que significa un análisis del comportamiento climático más confiable. La Figura 9 presenta la precipitación media mensual multianual en el periodo comprendido entre 1983 y el año 2000 para ambas estaciones, donde se observa la correlación existente.

Figura 8 Localizaci3n estaciones pluviom3tricas zona de expansi3n de Cali Corredor Cali-Jamund3

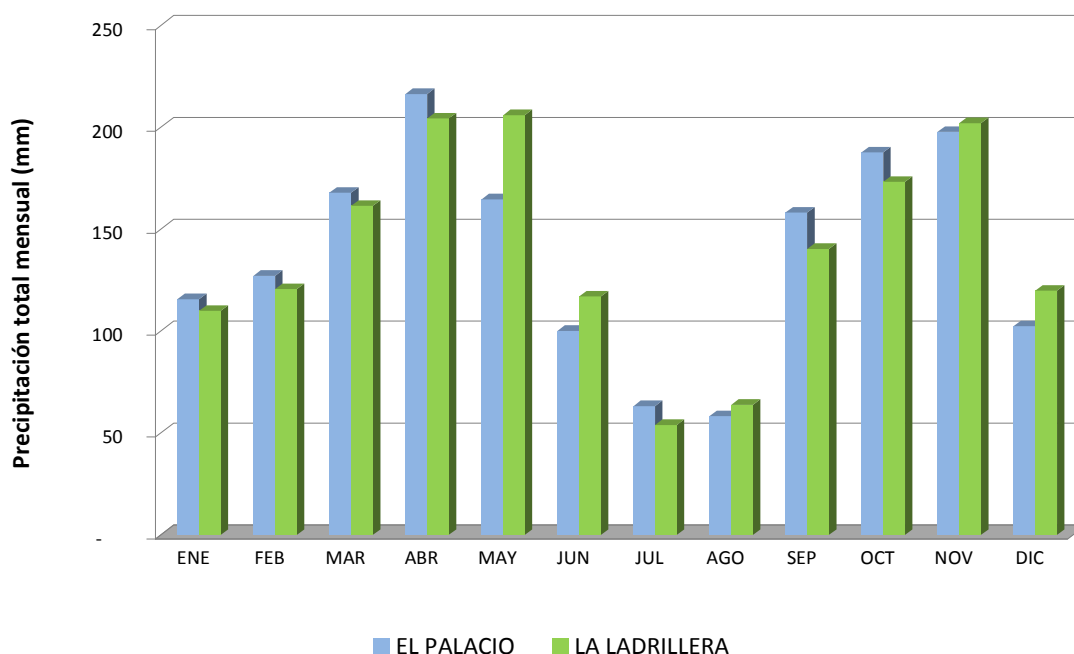


Figura 9 Promedio precipitaci3n mensual multianual periodo 1983-2000 estaciones El Palacio y La ladrillera

Una vez seleccionada la estaci3n climatol3gica El Palacio, se realiz3 el balance climatol3gico simple con escala de agregaci3n mensual multianual, que permiti3 observar el comportamiento bimodal de la precipitaci3n y la evaporaci3n en un a3o hidrol3gico, identificando as3, dos periodos h3medos comprendidos entre los meses de marzo, abril y mayo; y octubre, noviembre y diciembre; y dos periodos secos comprendidos en los meses de enero y febrero; y junio, julio, agosto y septiembre (Figura 10).

La precipitaci3n media mensual multianual de la zona de estudio es de 121.60 mm, con m3ximas de 195.9 mm en el mes de abril y m3nimas de 51.22 mm en el mes de julio, entre tanto la evaporaci3n de la zona presenta un comportamiento con variaciones leves, encontrando una evaporaci3n media mensual multianual de 123.58 mm, con m3ximas de 143.44 mm en el mes de agosto y m3nimas de 105.10 mm en el mes de noviembre.

En cuanto al comportamiento clim3tico con escala de agregaci3n anual multianual, la precipitaci3n media para la zona de estudio es de 1570 mm con m3ximas de 2256 mm y m3nimas de 890 mm.

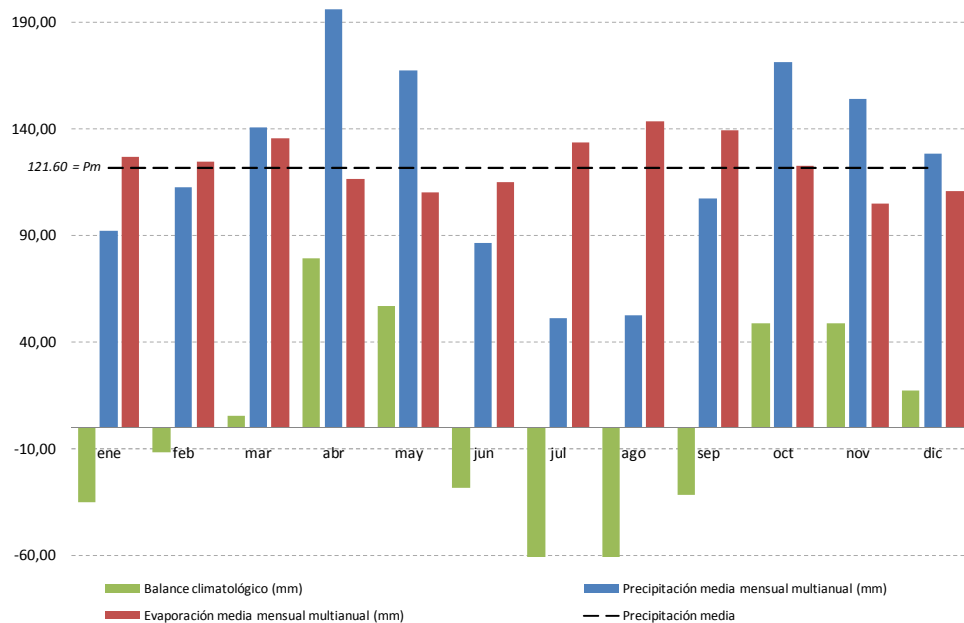


Figura 10 Balance simple estaci3n El Palacio

En los 3ltimos 10 a3os la precipitaci3n ha sufrido disminuciones significativas, oscilando entre 1109 mm/a3o y 1871 mm/a3o (Figura 11). De acuerdo con el IDEAM, para todo el occidente colombiano, se han caracterizado los a3os 2002 y 2006 como periodos h3medos, lo cual se verific3 en el an3lisis temporal de la precipitaci3n a escala anual multianual. Espec3ficamente para la zona de estudio se identificaron como a3os h3medos el 2000, 2002, 2003, 2006 y 2008, por tener valores superiores a la precipitaci3n media (1570 mm/a3o). Por el contrario los a3os 2001, 2004, 2005, 2007 y 2009 fueron catalogados como periodos secos.

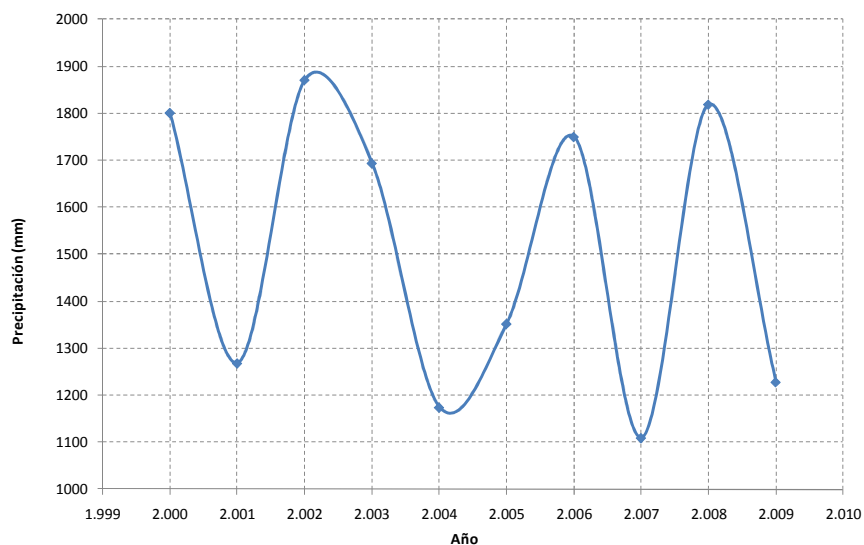


Figura 11 Precipitaci3n total anual periodo 2000-2009 Estaci3n El Palacio

#### 6.2.4 Uso del suelo

En el área predominan los usos en ganadería extensiva y agricultura con predominio de caña. Se encuentran zonas desarrolladas en usos institucionales, colegios y uso recreativo vivienda aislada o en parcelaciones, y centros deportivos. En la Figura 12 se presenta la zona de expansión superpuesta a estos usos los cuales se continuarían ejerciendo posteriores a la urbanización.

### 6.3 Caracterización urbana

#### 6.3.1 Modelo de ocupación

El Corredor Cali-Jamundí no tiene un polígono normativo que la regule, ni especificaciones de urbanización, tipo de vivienda o estratificación, la urbanización de la zona se realiza a través de la formulación y adopción de planes parciales como instrumentos mediante los cuales se desarrollan y complementan las disposiciones del plan de ordenamiento territorial.

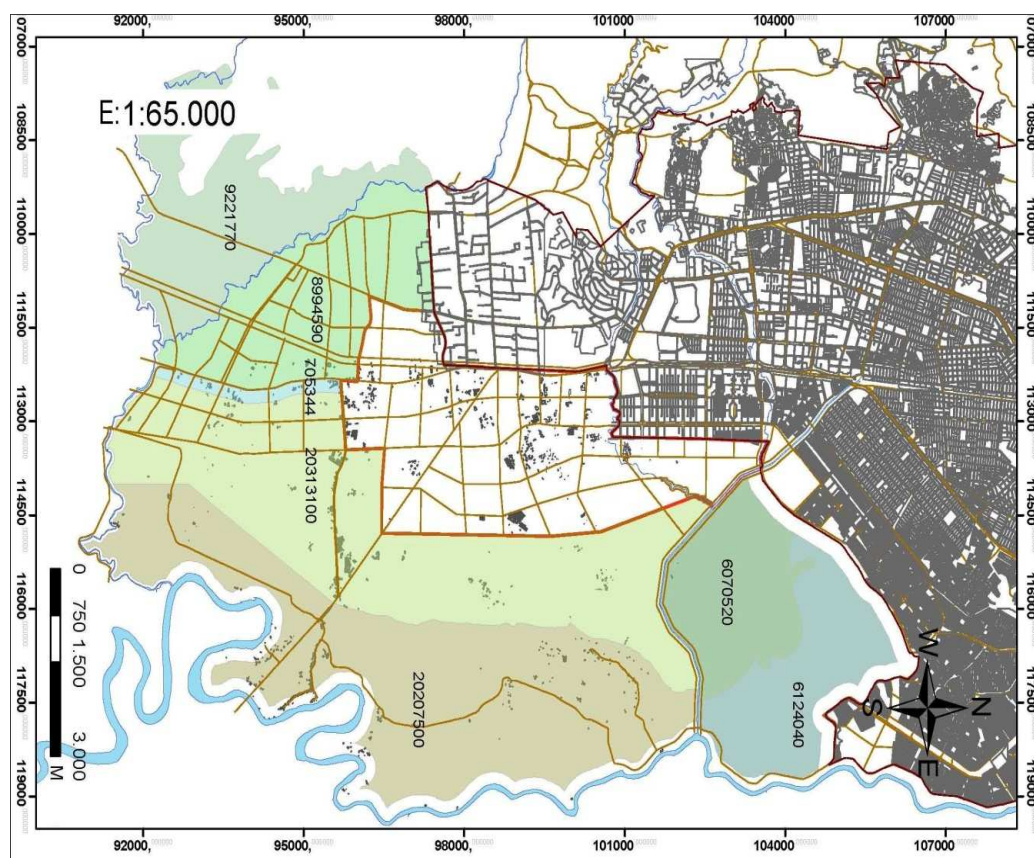


Figura 12 Usos del suelo zona de expansión de Cali Corredor Cali-Jamundí

Mediante cada plan parcial se establece el aprovechamiento de los espacios privados, con la asignación de sus usos específicos, intensidades de uso y edificabilidad, así como las obligaciones de cesión y construcción y dotación de equipamientos, espacios y servicios públicos, que permitirán la ejecución asociada de los proyectos específicos de urbanización y construcción de los terrenos incluidos en su ámbito de planificación.

A la fecha en el Departamento Administrativo de Planeación Municipal se han radicado 9 planes parciales correspondientes al desarrollo urbano de 547.45 Ha.; de los cuales 4 se encuentran adoptados y los 5 restantes en proceso de revisión y aprobación, la Tabla 1 lista los planes parciales formulados para la zona, los cuales se presentan en la Figura 13, la cual además presenta características generales de la infraestructura vial y de los sistemas estructurantes.

A continuación se describen las características de los planes parciales formulados con base en la simulación urbano-financiera correspondiente al modelo urbano que cada uno presenta. Cabe resaltar que la información consignada proporciona un marco general de cómo se puede desarrollar esta área urbana, sin embargo la tipología de las viviendas y las formas de urbanización están supeditadas a las características sociales, económicas y del mercado en el momento de ejecutar los planes en si.

Los planes parciales formulados se caracterizan por hacer un uso del suelo principalmente residencial tal como lo presenta la Tabla 2, a excepción del plan Centro Intermodal de Transporte Regional de Pasajeros del Sur el cual es un área de actividad de centralidad para el transporte de la ciudad de Cali, por lo cual en posteriores tablas descriptivas de los planes parciales no se presenta. En el área no se proyecta el uso industrial e institucional.

Tabla 1 Planes parciales propuestos en la zona de expansi3n de Cali Corredor Cali-Jamund3

PLAN PARCIAL	LOCALIZACI3N	ESTADO	3REA BRUTA (m <sup>2</sup> )
PP Ciudad Mel3ndez	<b>Norte:</b> Carrera 97 <b>Occidente:</b> calle 50 <b>suroriente:</b> calle 75 <b>Nororiente:</b> Calle 61	Adoptado	1,019,418.00
PP Bochalema	<b>Occidente:</b> Calle 25, Av. Panamericana. <b>Norte:</b> Carrera 109 <b>Oriente:</b> Calle 48, Av. Ciudad de Cali. <b>Sur:</b> Carrera 115	Adoptado	396,745.95
PP Las Vegas Comfandi	<b>Oriente:</b> Canal EMCALI Sur (carrera 50) y R3o Lili <b>Norte:</b> Futura carrera 83C <b>Occidente:</b> Calle 50 <b>Sur:</b> Futura carrera 86	Adoptado	451,282.10
PP El Carmen y San Bartolo	<b>Oriente:</b> Calle 48 <b>Norte:</b> Futura Carrera 138 <b>Occidente:</b> Emisora Radio El Sol, Jaime C3rdoba V., herederos de Dolores Bedoya y Av3cola N3poles. <b>Sur:</b> Carrera 143 al hormiguero	Adoptado	230,094.86
PP Cachipay	<b>Occidente:</b> Calles 55 y 57. <b>Norte:</b> Carrera 118 y 109 <b>Oriente:</b> Calle 61 <b>Sur:</b> Carrera 120	Usos de Suelo	626,100.00
PP El Capricho	<b>Occidente:</b> con la Calle 42 <b>Norte:</b> con la Carrera 122 <b>Oriente:</b> con la Calle 61 <b>Sur:</b> con la Carrera 126	Usos de Suelo	1,541,003.96
PP El Verdal	<b>Occidente:</b> Calle 48 PP Centro Intermodal Sur <b>Norte:</b> r3o Lili <b>Oriente:</b> Centro de Reclusi3n de Menores y Todelar <b>Sur:</b> Carreras 109 y 115	Usos de Suelo	309,501.27
PP Piedrachiquita	<b>Occidente:</b> Calle 25 V3a Panamericana y la v3a Cali - Puerto Tejada. <b>Norte:</b> Carrera 121 predio del antiguo Autocine <b>Oriente:</b> Calle 49 junto al terreno propiedad de Ovidio Pel3ez y CIA Ltda. <b>Sur:</b> Carrera 122, Hacienda El Capricho.	Usos de Suelo	603,357.52

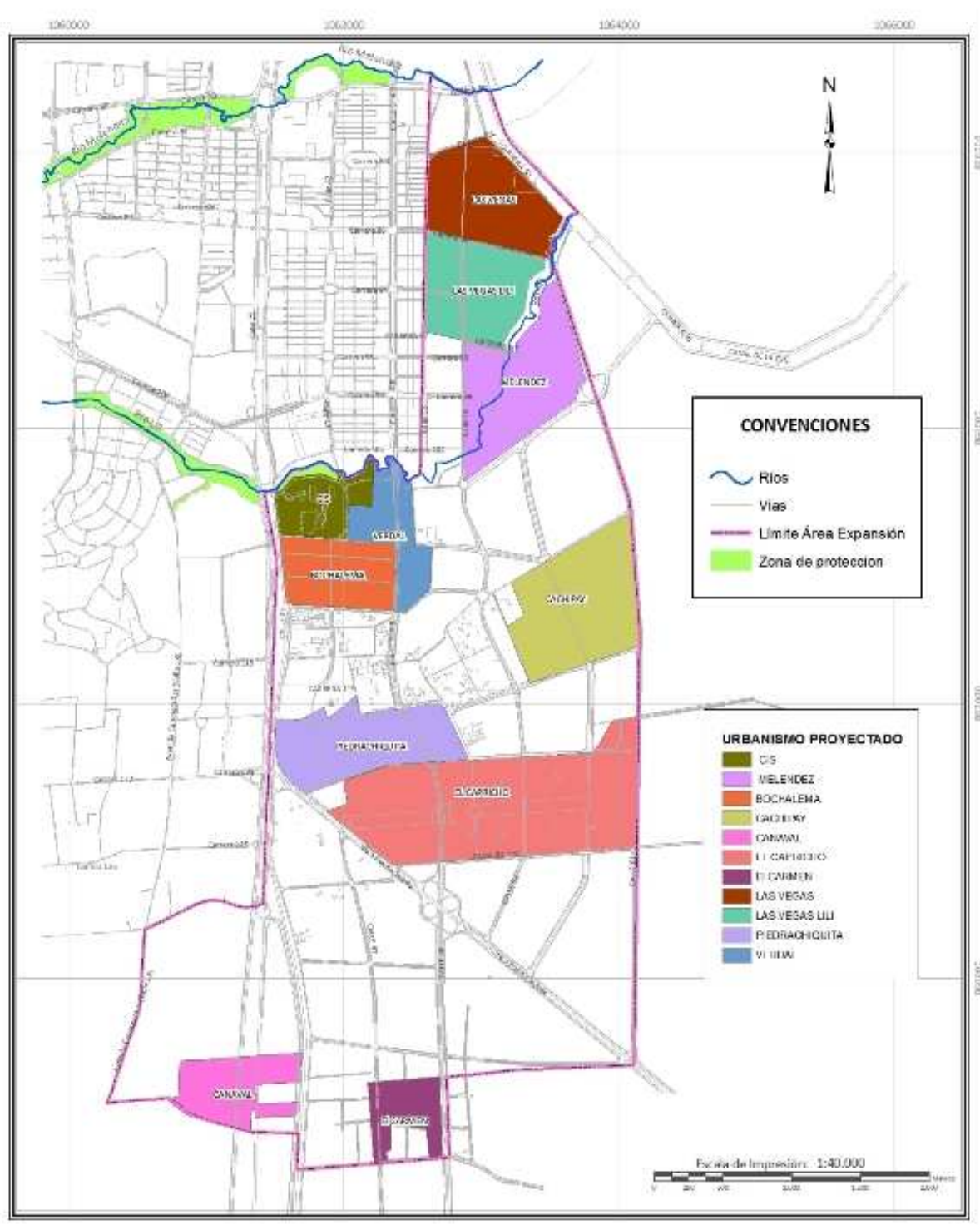


Figura 13 Localización planes parciales propuestos en la zona de expansión de Cali  
Corredor Cali-Jamundí

Fuente: Departamento Administrativo de Planeación Municipal

Tabla 2 Características de usos de suelo en planes parciales propuestos en la zona de expansión de Cali Corredor Cali-Jamundí

PLAN PARCIAL	ÁREAS DE ACTIVIDAD						
	Residencial Neto	Residencial Predominante	Actividad Mixta	Económico Predominante	Industrial Predominante	Especial Institucional	Área Actividad Centralidad
PP Ciudad Meléndez	-	494,798.65	-	-	-	-	-
PP Bochalema	-	112,635.31	98,214.78	-	-	-	-
PP Las Vegas Comfandi	252,540.31	-	-	6,613.81	-	-	-
PP El Carmen y San Bartolo	-	-	88,545.92	-	-	-	-
PP Cachipay	-	336,760.00	-	-	-	-	-
PP El Capricho	538,570.52		289,063.03	-	-	-	-
PP El Verdal	72,292.18	-	48,761.91	-	-	-	-
PP Piedrachiquita	52,841.11	173,013.62	-	72,178.01	-	-	-
PP Centro Intermodal de Transporte Regional de Pasajeros del Sur	-	-	-	-	-	-	181,216.62

En la Tabla 3, se presenta las áreas y tipos de usos las mismas en cada plan parcial. La Tabla 4 presenta la asignación de área por tipo de vivienda y las posibles densidades poblacionales y de urbanización que se dan en estas áreas de desarrollo.

Tabla 3 Áreas y tipos usos de suelo en planes parciales propuestos en la zona de expansión de Cali Corredor Cali-Jamundí

PLAN PARCIAL	ÁREA BRUTA (m2)	AFECTACIONES		AREA NETA URBANIZABLE m2	CESIONES OBLIGATORIAS			ÁREA ÚTIL m2
		VIAL m2	OTRAS m2		ESPACIO PUBLICO 18% (m2.)	EQUIPAMIENTOS 3% (m2.)	VÍAS (m2.)	
PP Ciudad Meléndez	1,019,418.00	137,920.64	-	881,497.36	194,005.91	30,582.64	162,110.16	494,798.65
PP Bochalema	396,745.95	44,134.95	-	352,611.00	71,414.27	11,902.84	58,443.80	210,850.09
PP Las Vegas Comfandi	451,282.10	39,936.25	-	411,345.85	79,956.53	13,538.45	58,695.76	259,155.11
PP El Carmen y San Bartolo	230,094.86	25,376.48	1,942.06	202,776.32	50,529.69	27,281.46	36,419.23	88,545.94
PP Cachipay	626,100.00	58,133.00	11,587.00	556,380.00	112,713.30	18,789.70	88,117.00	336,760.00
PP El Capricho	1,541,003.96	169,200.55	53,639.29	1,318,164.12	266,518.73	55,329.03	168,663.81	827,652.55
PP El Verdal	309,501.27	57,885.63	4,751.26	246,864.38	57,231.01	9,285.18	59,294.14	121,054.05
PP Piedrachiquita	603,357.52	89,925.56	-	513,431.96	119,951.66	19,375.01	76,072.55	298,032.74

Tabla 4 Asignación de área por tipo de vivienda en planes parciales propuestos en la zona de expansión de Cali Corredor Cali-Jamundí

PLAN PARCIAL	ÁREA VIVIENDAS (m2)				UND VIVIENDAS				DENSIDADES	
	VIS	VIP	NO VIS	TOTAL	VIS	VIP	NO VIS	TOTAL	Viv/Ha	Hab/Ha
PP Ciudad Meléndez	352,469.99		142,304.09	494,774.08	1772	0	5056	6828	77.46	309.84
PP Bochalema	42,170.02		168,680.92	210,850.94	846	0	3384	4230	119.96	479.85
PP Las Vegas Comfandi	101,107.10	158,048.01	-	259,155.11	1357	2093	0	3450	83.87	335.48
PP El Carmen y San Bartolo	21,461.85		67,084.09	88,545.94	587	0	1833	2420	119.34	477.37
PP Cachipay	142,048.90		194,711.10	336,760.00	2490	0	3510	6000	107.84	431.36
PP El Capricho	168,826.09		658,681.20	827,507.29	1940	0	7760	9700	73.59	294.35
PP El Verdal	32,166.74		88,887.35	121,054.09	716	0	1605	2321	94.02	376.08
PP Piedrachiquita	64,791.18		233,242.66	298,033.84	885	0	1815	2700	52.59	210.35

VIS: Vivienda de interés social. Valor máximo de la vivienda 135 SMLMV a 2010 \$69.525.000  
VIP: Vivienda de interés prioritario. Valor máximo de la vivienda 70 SMLMV a 2010 \$36.050.000  
NO VIS: Viviendas diferentes a VIS y VIP.

Se encuentra que las áreas residenciales predominantes en estos planes parciales corresponden a viviendas no VIS correspondiendo a un 66% es decir construcciones para un nivel socioeconómico asociado a los estratos 5 y 6, como se presenta en la Figura 14 seguida por viviendas VIS con un 28% es decir para estratos entre el 3 y 4, y viviendas VIP con un 6% relacionados con los estratos 1-2. En promedio se encuentra una densidad poblacional de 364 Hab/Ha asociado a una densidad de viviendas de 91 unidades/Ha.

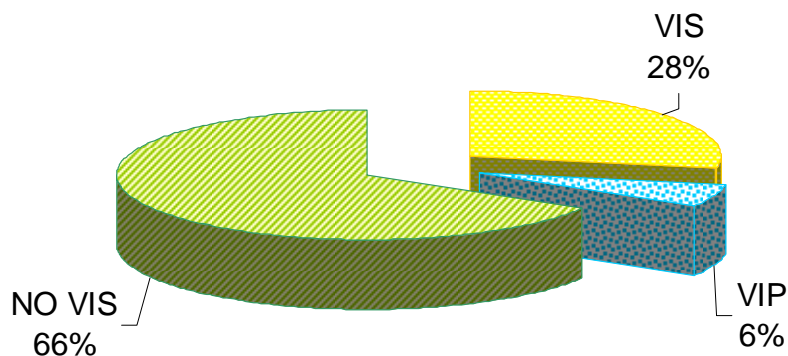


Figura 14 Distribución porcentual de tipo de vivienda en planes parciales formulados

La Figura 15 presenta una animación de la proyección urbana de uno de los planes parciales promovidos en la zona de expansión.



Figura 15 Proyección plan parcial Bochalema localizado en la zona de expansión

### 6.3.2 Proyección de ocupación

En el ítem 3.1 se describieron las características de los planes parciales formulados para el área de estudio correspondientes a 547.45 Ha de las 1.669 Ha., es decir el 32.8% del área de planificación. Este ítem se ocupa de realizar el análisis de diferentes factores influyentes en la ocupación asociada

a la tendencia que se genera en la ciudad de Cali y las propuestas adelantadas para la zona con el objeto de proporcionar un escenario de ocupación del territorio.

Al año 2007, las comunas 17 y 21 de la ciudad de Cali, tuvieron la mayor participación de licencias nuevas de construcción, siendo estas de 30.85% y 31.81% respectivamente (Bravo, 2008). La comuna 17, está localizada al sur de la ciudad, contigua a la zona de expansión, presentando características similares a las proyecciones urbanas del área de estudio, convirtiéndose en un referente para la extensión del modelo de urbanización del corredor Cali-Jamundí. De igual forma la comuna 22, se encuentra ubicada al oriente del área de estudio, marcando de igual forma una tendencia en esta orientación del área de expansión.

Los proyectos de vivienda que actualmente se comercializan en la comuna 17, la comuna 22 y unas primeras propuestas de la zona de expansión presentan las siguientes características: se encuentran aproximadamente 26 proyectos, de los cuales el 85% son unidades de viviendas en multifamiliares y 15% casas unifamiliares. Las viviendas unifamiliares se promueven en niveles socioeconómicos altos, con costos superiores a los 100 millones de pesos. Según el precio, el 73% de la oferta es de vivienda tipo VIS<sup>1</sup> y el 27% No VIS<sup>2</sup>; no se encuentra vivienda tipo VIP<sup>3</sup>. En relación al área de las unidades de vivienda, se encuentra que el 31% de la oferta tiene áreas menores a los 60 m<sup>2</sup>, 27% cuenta con áreas entre 60 y 80 m<sup>2</sup>, 23% tienen un área entre 80 y 100 m<sup>2</sup> y un 19% tiene áreas mayores a los 100 m<sup>2</sup>.

La Figura 16 presenta una imagen de la tipología de vivienda promovida en la comuna 17.



Figura 16 Proyectos urbanos promovidos en la comuna 17

---

<sup>1</sup> VIS Vivienda de interés social con costo entre 70 y 135 salarios mínimos legales vigentes. Al 2010 entre \$69.525.000 y \$36.050.000

<sup>2</sup> No VIS, Vivienda con costo superior a 135 salarios mínimos legales vigentes. Al 2010 superior a \$69.525.000

<sup>3</sup> VIP, Vivienda de interés prioritario con costo inferior a 135 salarios mínimos legales vigentes. Al 2010 inferior a \$36.050.000

### 6.3.3 Sistema vial

Para el área de estudio se tiene proyectado una red de vías las cuales se articulan con las vías del área ya consolidada. La red está compuesta por una vía interregional, la vía Cali - Jamundí, y una serie de vías arterias principales y secundarias además de la vías colectoras y locales. En la Tabla 5 1 se presentan las características del sistema vial principal proyectado para la zona con las características respectivas.

Tabla 5 Características del sistema vial

IDENTIFICACION	JERARQUIA	LADO IZQUIERDO				SEPARADOR	LADO DERECHO				ANCHO TOTAL
		ANDEN	SERVICIO	SEPARADOR LATERAL	PRINCIPAL		PRINCIPAL	SEPARADOR LATERAL	SERVICIO	ANDEN	
Entre Carrera 100 y Río Jamundí	VI	8.00	7.00	7.50	10.50	44.00	10.50	7.50	7.00	8.00	110.00
Calle 48 (Avenida Ciudad de Cali) entre Carrera 50 y Río Jamundí entre Carrera 50 y Río Jamundí	VAP	4.00	7.20	1.20	9.60	16.00	9.60	1.20	7.20	4.00	60.00
Carrera 102 - Calle 75 entre Calle 25 y Carrera 50	VAP	5.00	7.20	2.00	10.50	10.60	10.50	2.00	7.20	5.00	60.00
Carrera 122 entre Calle 25 y Calle 61	VAP	5.00			13.20	8.60	13.20			5.00	45.00
Calle 60 entre Vía a Carrera 134 y Carrera 50	VAS	5.00			9.60	15.80	9.60			5.00	45.00
Carrera 143 desde la vía Cali - Jamundí hasta la Calle 48	VAS	5.00			9.60	7.80	9.60			5.00	37.00
Carrera 109 entre Calle 48 y Calle 61	VAS	5.00			9.60	7.80	9.60			5.00	37.00
Carrera 120 entre Calle 48 y Calle 61	VAS	5.00			9.60	7.80	9.60			5.00	37.00
Carrera 122 entre Calle 5 y Calle 25	VAP	4.00			9.60	2.80	9.60			4.00	30.00
Av. Cañasgordas (Calle 16 -Calle 18) entre Carrera 100 y Río Jamundí	VAP	4.00			9.60	2.80	9.60			4.00	30.00
Carrera 120 entre Calle 25 y Calle 48	VAS	2.80			7.20	5.00	7.20			2.80	25.00
Carrera 109 entre Calle 25 y Calle 48	VAS	2.00			7.00	1.00	7.00			2.00	19.00

Fuente: Departamento Administrativo de Planeación Municipal

## 7 METODOLOGÍA

### 7.1 Visión general de la metodología

El tema de minimización y prevención se abordó desde las tres principales áreas de gestión del agua: abastecimiento, saneamiento y drenaje en el marco de la gestión integral del recurso hídrico. Estas áreas se agruparon en dos bloques:

- i) Minimización y prevención en manejo de aguas residuales domésticas, el cual contempla las áreas de abastecimiento y saneamiento
- ii) Minimización y prevención en manejo de aguas de drenaje el cual considera la gestión de las aguas lluvias en áreas públicas

El desarrollo de cada uno de estos bloques, en relación a los objetivos propuestos, se realizó con la siguiente secuencia:

- a. Identificación de alternativas y formulación de estrategias
- b. Selección de estrategias
- c. Comparación de estrategia seleccionada vs. Estrategia convencional

A continuación se describe la metodología seguida en cada paso, para el bloque respectivo (aguas residuales domésticas y drenaje) acorde a esta estructura general.

### 7.2 Metodología manejo de aguas residuales domésticas

#### 7.2.1 Identificación de alternativas

La identificación de las alternativas de minimización y prevención se realizó a partir de revisión de literatura, entre la que se encuentra: publicaciones en revistas indexadas, libros, y tesis, donde se reporten experiencias tanto nacionales como internacionales, que incluyan las últimas tendencias en gestión integral del agua urbana. Se realizó consulta con expertos e indagación en el mercado tanto local como externo de aparatos que contribuyan a la disminución de consumos de agua.

Las alternativas de minimización y prevención incluyen mejoramiento en prácticas de consumo y aspectos tecnológicos tales como aparatos de bajo consumo, uso de aguas lluvias y uso de aguas grises. Esta investigación realizó énfasis en las opciones tecnológicas y consideró parcialmente las prácticas de consumo, ya que estas están ligadas a diversos elementos sociales. Se incorporaron algunas características socioculturales orientadas principalmente a la aceptación social de las tecnologías, al igual que elementos económicos.

La caracterización de las alternativas identificadas se realizó a partir de revisión de literatura del carácter mencionado, donde se presentaran metodologías de cálculo de volúmenes, dimensionamiento de sistemas de tratamiento, configuraciones de sistemas y demás requerimientos para la implementación de las técnicas consideradas. Con base en los requerimientos encontrados

se realizaron los cálculos acorde a las características locales del área de estudio, considerando elementos ambientales, tipologías de vivienda proyectadas entre las que se encontraban casas unifamiliares y multifamiliares, y densidad poblacional. Con los predimensionamientos realizados se calcularon las cantidades de obra y se proyectaron los costos asociados con base en los precios locales de mano de obra y materiales. En relación a la caracterización de aparatos de uso doméstico del agua, se consultaron proveedores locales que proporcionaran características técnicas en relación a los consumos, actividades de operación y mantenimiento y costos asociados a la implementación de los mismos tanto de inversión inicial como de operación y mantenimiento.

### 7.2.2 Preselección de alternativas y formulación de estrategias acorde al contexto local

La preselección de alternativas se hizo a partir de la consulta en el mercado local de los dispositivos disponibles actualmente, para no incorporar incertidumbre en el estudio sobre la posibilidad de comercializar aparatos de otros contextos.

Con los aparatos disponibles se plantearon combinaciones y se compararon entre sí en función de los costos de inversión inicial y operación y mantenimiento, identificando los que representarían menores costos de tal forma que resultaran viables financieramente.

Con los equipos preseleccionados, se realizó una consulta social sobre la preferencia de los aparatos para la evacuación de excretas, a través de 167 encuestas realizadas a personas interesadas en adquirir vivienda urbana en el sur de la ciudad. Los detalles metodológicos de consulta social se presentan en el ANEXO 1 Aceptación social alternativas de minimización y prevención.

Con los equipos de evacuación de excretas seleccionados y las opciones de uso de fuentes alternas de agua (aguas lluvias y aguas grises) en los diversos usos domésticos tanto a nivel de vivienda unifamiliar y multifamiliar, se formularon combinaciones asociadas con la fuente de agua y los respectivos usos para generar las estrategias de manejo de agua a nivel doméstico.

Estas estrategias se analizaron en función de las demandas de agua, la producción de agua residual, los excesos generados de aguas lluvias, las cargas orgánicas de DBO y SST que estas aguas domésticas generan. Los cálculos para el caso de la zona de expansión, se realizaron a partir del levantamiento de información local de los consumos, cargas orgánicas de sitios con características similares a las de áreas de estudio y la revisión de literatura cuando no se dispusiera de información local.

### 7.2.3 Selección de estrategias

La selección de las estrategias formuladas se apoyó en el método propuesto por (Zeng et al. 2007), el cual es un modelo multicriterio que incorpora análisis jerarquizacional y análisis relacional gris, el cual permite identificar un orden de elegibilidad de las estrategias analizadas.

El análisis jerarquizacional es un modelo multicriterio asociado con múltiples características de relevancia, en la Figura 17 se ilustra el sistema de jerarquización de la alternativa de minimización y

prevención con los múltiples objetivos. El objetivo principal del modelo de decisión se encuentra en la parte superior (Nivel 1); los criterios, los indicadores y las estrategias se encuentran en niveles inferiores de la jerarquía (Nivel 2, 3 y 4 respectivamente).

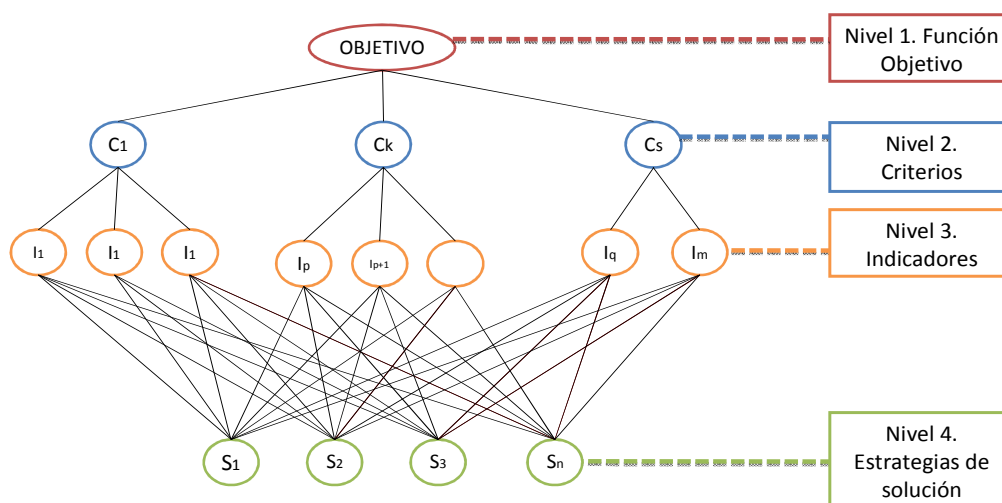


Figura 17 Sistema general de jerarquización estrategias de minimización y prevención

Con relación a los criterios e indicadores para la selección, se identificaron a partir de revisión de literatura y de documentos e información local de carácter institucional y técnica, de tal forma que se utilicen indicadores factibles de cuantificar.

Los criterios utilizados fueron ambientales, económicos, sociales y técnicos. La relevancia o peso de estos criterios fue identificada con consulta a actores locales con influencia en aspectos de manejo del agua en la ciudad de Cali y específicamente en la zona de expansión. La consulta se hizo a través de encuestas a 19 personas de 4 instituciones y 2 gremios. Las encuestas indagaron sobre la relevancia de cada criterio con respecto al otro, usando la matriz de comparación por pares presentada por Saaty de acuerdo a la escala de valores de la Tabla 6 (Romero 1997; Zeng et al. 2007). Con el objeto de minimizar la dispersión de los datos, no se utilizaron las categorías 2, 4, 6, 7 y 8. Los criterios son puestos en un arreglo matricial tal que, la diagonal de la matriz es la unidad tal como se presenta en la Figura 18. Con las respuestas dadas por el centro decisor, se realizó un análisis de frecuencia, de tal forma que se diera respuesta a cada campo del arreglo matricial. Los detalles metodológicos de consulta social se presentan en el ANEXO 2 Pesos de criterios de selección.

Tabla 6 Valores de priorización de criterios

Numero de asignación	Interpretación del Valor Numérico
1	Cuando los criterios son de igual importancia
3	Cuando un criterio tiene moderada importancia respecto al otro
5	Cuando un criterio tiene fuerte importancia respecto al otro
7	Cuando un criterio tiene demostrada importancia respecto al otro
9	Cuando un criterio tiene extrema importancia respecto al otro
2,4,6,8	Juicios de valor intermedios entre el criterios anterior y posterior a él

Fuente: Saaty, 1994 citado por (Romero 1997)

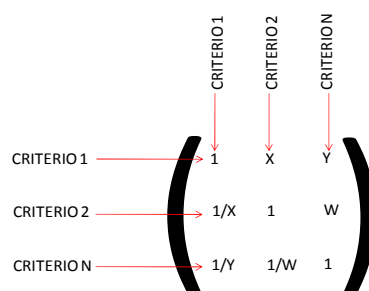


Figura 18 Arreglo matricial de comparación de criterios  
Fuente: (Romero 1997)

Se chequeó la consistencia de la matriz mediante el cálculo de la razón de inconsistencia RI la cual indica el grado de incoherencia que se comete al calificar la importancia relativa de los criterios. La razón de inconsistencia RI se calcula empleando la siguiente expresión:

$RI = IC/CA$ , donde IC es el índice de consistencia y CA es la consistencia aleatoria.

La matriz es normalizada para identificar el peso de cada criterio e indicador.

Una vez identificados los pesos de los criterios, se procede a la definición de los indicadores de cada uno de ellos, los cuales se presentan con sus respectivos pesos en la Tabla 7. El peso de cada indicador dentro de cada criterio se calculó considerando la misma relevancia, distribuyendo en este caso la unidad entre el número de indicadores planteados.

Tabla 7 Indicadores y pesos utilizados en el proceso de selección

ECONÓMICO		AMBIENTAL		TÉCNICO		SOCIAL	
Indicador	Peso	Indicador	Peso	Indicador	Peso	Indicador	Peso
Costos de inversión inicial en infraestructura externa	$\frac{1}{2} = 0,5$	% Disminución de la demanda de agua potable	$\frac{1}{3} = 0,333$	Nivel de complejidad	1	Apoyo institucional	$\frac{1}{2} = 0,5$
Costos de inversión inicial, operación y mantenimiento en redes internas	$\frac{1}{2} = 0,5$	% Remoción de DBO	$\frac{1}{3} = 0,333$			Aceptación social	$\frac{1}{2} = 0,5$
		% Remoción de SST	$\frac{1}{3} = 0,333$				

Los costos de inversión inicial en infraestructura externa se estimaron teniendo como indicador una función lineal del caudal de agua potable, agua residual y planta de tratamiento de agua.

Los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento en redes internas se calcularon con base en la caracterización realizada de cada alternativa donde se realizó los presupuestos respectivos de cada estrategia con base en costos locales.

Los indicadores ambientales se calcularon teniendo en cuenta la población total del área, revisando parámetros locales de abastecimiento y saneamiento en áreas similares a la del área de estudio, en

este caso la comuna 17 de la ciudad de Cali y calculando acorde a las características de cada estrategia los parámetros de abastecimiento y saneamiento según la caracterización realizada.

Para la identificación del nivel de complejidad se realizó consulta a profesionales de ingeniería sanitaria con conocimientos en implementación de nuevas estrategias.

El indicador de aceptación social se realizó a través de 167 encuestas a personas interesadas en adquirir vivienda en el sur de Cali, y el análisis de frecuencia de las respuestas dadas, los detalles de estas encuestas se presenta en el ANEXO 1.

El indicador de apoyo institucional se realizó a través de encuestas a miembros de instituciones relacionadas con la gestión del agua y el análisis de frecuencia de las respuestas dadas, los detalles de estas encuestas se presenta en el ANEXO 3.

Con los datos calculados para cada indicador en las estrategias propuestas se genera una matriz multicriterio de selección. Cada dato es normalizado utilizando las siguientes expresiones:

Para indicadores que se pretende minimizar: XX

Para indicadores que se pretende maximizar: XX

Los datos normalizados generan una matriz a los cuales se les calcula el primer coeficiente correlacional gris a través de la Expresión 1:

$$\xi_{0i}(j) = \frac{0.5 \max_i \left\{ \max_j |x_{0j} - x_{ij}| \right\}}{|x_{0j} - x_{ij}| + 0.5 \max_i \left\{ \max_j |x_{0j} - x_{ij}| \right\}},$$

$$i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Expresión 1

i: alternativas tecnológicas

j: Indicadores

Cada coeficiente calculado fue ponderado por el peso del indicador correspondiente. Los indicadores correspondientes a cada criterio fueron sumados para generar un vector de los datos ponderados. Esta matriz fue normalizada para posteriormente calcular un segundo coeficiente correlacional gris con la Expresión 1, la cual fue ponderada con los pesos correspondientes a cada criterio. Se realizó la sumatoria en cada estrategia de los valores calculados en cada indicador. Los valores calculados para cada estrategia permitieron la identificación de la jerarquía para la selección de la estrategia acorde los criterios identificados.

#### 7.2.4 Comparación de estrategia seleccionada vs. Estrategia convencional

La comparación se realizó mediante un análisis costo beneficio.

La comparación tuvo como primer paso la caracterización de la estrategia seleccionada o estrategias seleccionadas y la estrategia convencional. Esta caracterización incluye los trazados, predimensionamientos y presupuestos de las redes principales de acueducto, alcantarillado y planta de tratamiento de agua residual además de los requerimientos de bombeo. También se consideraron los caudales de demanda de agua potable y producción de agua residual.

La estrategia convencional se identificó a través de la revisión de propuestas para el manejo del agua en la zona de estudio en las instituciones del sector.

Con la estrategia convencional definida y las estrategias de minimización y prevención seleccionada se realizó una evaluación económica a nivel de perfil de la implementación de la propuesta novedosa analizando la situación incremental con respecto a la opción convencional, es decir la diferencia entre los costos y/o beneficios "con" la opción y los costos "sin" la opción tecnológica.

Se siguieron elementos metodológicos de la técnica de evaluación económica propuesta por (Miranda 2001). La técnica de evaluación en cuestión, se desarrolló en varias etapas:

- Determinación y cuantificación de beneficios directos e indirectos que se pueden asignar a cada alternativa.
- Identificación y cuantificación de los costos directos e indirectos asociados a cada alternativa.
- Generación del flujo de los recursos financieros que utilizará el proyecto tanto en la etapa de inversión inicial (instalación de la tecnología) como en la etapa de operación y mantenimiento, así como el flujo de ingresos que se generará en la producción de los bienes y/o servicios que producirá el proyecto durante su vida útil.
- Comparación de los costos y beneficios de cada alternativa y determinación de los niveles de rentabilidad.

#### 7.2.4.1 Beneficios y costos de las alternativas

El primer paso fue la identificación del impacto en dos componentes: los beneficios o impactos positivos y los costos o impactos negativos. Tanto los beneficios como los costos fueron analizados teniendo en cuenta su magnitud, su ubicación en el tiempo y la duración del proyecto.

Se involucraron los costos económicos es decir los que representan el uso de tierra, mano de obra o capital. Se involucraron los costos que se estiman para el período de inversión inicial (instalación) como durante la operación del proyecto.

Se llaman beneficios las contribuciones positivas de un proyecto encaminadas a satisfacer necesidades de la comunidad. El análisis de los beneficios se realizó en la misma forma que se establecieron para los costos, en consecuencia:

- Se identificaron los beneficios esperados del proyecto.
- Se calcularon los beneficios incrementales.

- Se excluyeron los elementos no económicos de los beneficios.
- Se sumó el valor de los beneficios en cada período de instalación y operación.

Se consideraron beneficios ambientales y económicos. Los beneficios ambientales asociados con los mejoramientos que a raíz del proyecto se presentan en el ambiente, particularmente la calidad, flujo, estado del aire y agua. Los beneficios financieros y económicos están relacionados con las actividades que generan algún tipo de ingreso o ahorro monetario.

No se tuvieron en cuenta los beneficios comunes entre las alternativas, incluyendo beneficios a la salud, ambientales y otras áreas sociales.

Se adoptó como periodo de análisis 30 años, teniendo en cuenta que este tiempo engloba los periodos de vida útil de los diversos componentes de los sistemas de acueducto y alcantarillado, acorde a las recomendaciones de la resolución 287 de la CRA (Referencia).

Se adoptó una tasa de crecimiento constante en un periodo de 20 años, el cual se estimó por profesionales de planificación del área, sería el tiempo densificación de esta.

#### 7.2.4.2 Evaluación costo-beneficio

En el análisis costo-beneficio se estimó el flujo de caja de costos y beneficios en los cuales se incurre al optar por cada una de las opciones. El resultado de flujo de caja es traído a valor presente neto para realizar la comparación utilizando:

- Valor Presente Neto Beneficios - Valor Presente Neto Costos
- Valor Presente Neto Beneficios/ Valor Presente Neto Costos

La tasa de descuento social utilizada es de 11%, la cual se encuentra en el rango de 10.91% y 11.5% reportada por la CRA para los proyectos de acueducto y alcantarillado a prestadores que atienden a mas de 80.000 suscriptores.

## 8 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 8.1 Aspectos generales minimización y prevención

El ciclo urbano del agua generalmente se ha manejado como sistemas separados y centralizados de abastecimiento, aguas residuales y drenaje; en la Figura 19 se presenta esquemáticamente el ciclo mencionado. El ciclo urbano del agua comienza con la extracción de agua de ríos y acuíferos, tratamiento, desinfección y distribución por sistema de tuberías en áreas residenciales, comerciales e industriales. El agua tratada se utiliza también para fines recreativos, incluido el riego de parques y jardines. Posterior a los usos, parte de esta agua se utiliza para el transporte de residuos a través de una red de alcantarillado hasta sistemas de tratamiento para posteriormente realizar el vertimiento a los cuerpos receptores tales como ríos, lagos y océanos. Las precipitaciones son recogidas y drenadas hasta su disposición en las aguas receptoras (Coombes and Kuczera 2002).

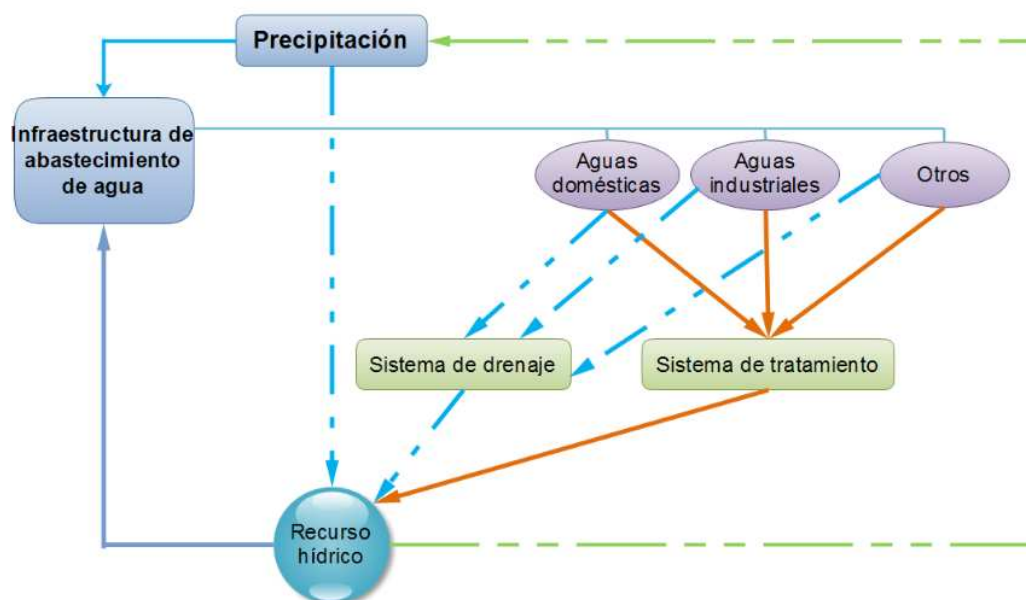


Figura 19 Ciclo urbano de agua  
Fuente: (Coombes and Kuczera 2002)

Para la solución de la problemática de gestión del agua han surgido estrategias con un enfoque integral en el cual se busca la disminución y control en origen de la contaminación que contribuyen en la disminución de las cargas de aguas residuales municipales a disponer promoviendo principios de producción limpia, uso eficiente del agua y la descentralización partiendo de la vivienda como unidad de planificación dentro del contexto de la cuenca hidrográfica, con el objeto de superar las deficiencias de las prácticas insostenibles de gestión de recursos de los enfoques convencionales (Al-Jayyousi 2003; Bithas 2008; Coombes and Kuczera 2002; Cheng 2003; Franken 2007; Ghisi and Mengotti de Oliveira 2007; Gikas and Tchobanoglous 2009; Gleick 2000; Makropoulos et al. 2008b; Mitchell 2006; Nhapi and Gijzen 2005; Nhapi and Hoko 2004b; Roy et al. 2008; Siebel and Gijzen 2002)

De manera específica, la minimización y prevención hace alusión a la reducción de residuos, emisiones y vertidos de un proceso productivo, a través de la adopción de medidas organizativas y operativas que permitan disminuir -hasta niveles económica y técnicamente factibles la cantidad y peligrosidad de los subproductos y contaminantes generados, que precisan un tratamiento o eliminación final (Cardona 2007; Siebel and Gijzen 2002). Al minimizar hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Cuantitativos: producir menos efluentes (contemplando el proceso productivo con entradas y con salidas)
- Cualitativo: producir efluentes menos dañinos.
- Objetivo final: reducir impactos o efectos negativos en el ambiente.

Todo ello se consigue por medio de su reducción en el origen y, cuando ésta no es posible, mediante el reciclaje de los subproductos en el mismo proceso o en otros, o bien mediante la recuperación de determinados componentes o recursos de los que contienen.

Es importante diferenciar entre reciclaje y reutilización del agua. La reutilización se define como el uso de agua que ha sido utilizada inicialmente en una aplicación para otra aplicación diferente, y el reciclaje como el uso de agua en la misma aplicación en la que se usó inicialmente (Estevan 2005). Este documento no se ocupa del reciclaje del agua, sino sólo de la reutilización.

Atendiendo al principio básico de no generación de residuos, los planteamientos pueden clasificarse en tres grandes grupos (Cardona 2007; Nhapi and Gijzen 2005):

- i. Reducción en el origen: se pretende minimizar la cantidad y la peligrosidad de las emisiones, vertidos y residuos a través de reducción de la cantidad de materia prima, cambios de equipamientos, mejoras en procedimientos de operación, en el mantenimiento de equipos, cambio en materias primas, separación de residuos.
- ii. Técnicas de reutilización en el sitio: aprovechamiento parcial o total de un residuo para su nueva utilización en un proceso distinto, en el mismo sitio.
- iii. Técnicas alternativas, las cuales hacen alusión al uso por terceros de los residuos generados en la unidad de análisis

Teniendo en cuenta que el objeto principal de esta investigación son las alternativas para minimizar y prevenir la contaminación, no se considerarán las técnicas alternativas ya que estas hacen parte de la componente de reuso de aguas residuales, la cual no involucra el alcance en el presente proyecto.

## 8.2 Minimización y prevención en manejo de aguas residuales domésticas

### 8.2.1 Características y usos del agua a nivel residencial

En el uso residencial se distinguen el agua para la satisfacción de las necesidades básicas como la ingesta, donde una persona por día consume entre 3 a 9 litros según el clima requiriéndose la más alta calidad (libre de patógenos, libre de sustancias química, baja en sales inorgánicas y o contener sustancias que le generen olor. También se requiere agua para la higiene personal y del hogar, consumo que varía entre 5 a 120 l/per-día dependiendo de la disponibilidad. Existen otras necesidades como el riego de jardines, lavado de autos, llenado de piscinas y la descarga de baños, la cual desde un punto de vista funcional no requiere ser de la más alta calidad como el agua de consumo (Makropoulos et al. 2008b).

El suministro de agua ha ido evolucionando con el tiempo, la población se dotaba de agua por medio del acarreo desde la fuente, pilas públicas hasta contar con la infraestructura actual de plantas de potabilización y redes de distribución que transportan el agua hasta la vivienda generando un mejor nivel de servicio a las personas, que ha redundado en beneficios en salud pública pero a su vez en mayores demandas de agua y por ende la producción de aguas residuales. A mediados del siglo XIX, el abastecimiento de las ciudades pasó de estar entre los 5 y 15 litros/ habitante-día, a oscilar entre los 80 y 300 litros. El manejo de las excretas también ha presentado una evolución desde la disposición en suelo, el uso de letrinas y la implementación del sanitario generando la necesidad además del uso del agua para la evacuación de las excretas y la puesta en marcha de sistemas de alcantarillado (Barco 2009; Gómez 2009).

Los consumos del agua y por ende la producción de aguas residuales dependen de diversos factores entre los que se encuentran los hábitos de consumo, el tipo de aparatos sanitarios que se utilicen y las fuentes de abastecimiento o los posibles usos que se le dan al agua al interior del hogar el cual varía significativamente entre países y las diferentes culturas, el clima y la economía (Gray 2008), como se presenta en la Tabla 8, mostrando la relación porcentual de los consumos típicos en la vivienda. Las aguas provenientes de cada uno de estos usos presentan distintas características de calidad como se presenta en la Tabla 9 .

Tabla 8 Consumo de agua por usos en la vivienda

Uso	Tipo de vivienda Plurifamiliar intensivo (Gómez et al. 2009)	Tipo de vivienda Plurifamiliar semi-intensivo (Gómez et al. 2009)	Unifamiliar (Gómez et al. 2009)	(Makropoulos et al. 2008a)	(Gray 2008)	(Mejia et al. 2004)
	España			Reino Unido	Inglaterra	Colombia
Ducha	34%	29%	21%	15%	20%	31%
Inodoro	21%	20%	13%	31%	35%	36%
Lavamanos	18%	22%	11%	9%	8%	
Lavadora	10%	9%	8%	20%	12%	14%
Cocina	4%	3%	2%	15%	15%	4%
Lava vajillas	5%	4%	4%	1%	4%	7%
Otros	8%	7%	5%	5%		
Jardín		3%	36%	4%	6%	8%

Tabla 9 Características de calidad de efluentes según el uso

Parámetro	Unidad de medida	Baño	Área de lavado	Cocina	Mezcla
pH	unidades de pH	6.4–8.1	7.1–10	5.9–7.4	6.3–8.1,
SST	(mg/l)	7–505	68–465	134–1300	25–183
Turbiedad	(NTU)	44–375	50–444	298	29–375
DQO	(mg/l)	100–633	231–2950	26–2050	100–700
DBO	(mg/l)	50–300	48–472	536–1460	47–466
Nitrógeno total	(mg/l)	3.6–19.4	1.1–40.3	11.4–>74	1.7–34.3
Fósforo total	(mg/l)	0.11–>48.8	ND->171	2.9–>74	0.11–22.8
Coliformes totales	(CFU/100ml)	10–2.4×10 <sup>7</sup>	200.5–7×10 <sup>5</sup>	2.4×10 <sup>8</sup>	56–8.03×10 <sup>7</sup>
Coliformes fecales	(CFU/100ml)	0–3.4 E+5	50–1.4 E+3	–	0.1–1.5×10 <sup>8</sup>

Fuente: (Li et al. 2009)

En términos generales los efluentes de los usos mencionados presentan características de calidad particulares por lo cual las aguas residuales se han clasificado en aguas residuales y aguas grises.

Se consideran aguas residuales las provenientes de los efluentes de los diferentes usos como descarga de sanitarios, duchas, lavamanos, lavaplatos. De manera específica, a las aguas provenientes del drenaje de la ducha, lavamanos, lavado de ropa, aseo de hogar y cocina se le ha denominado aguas grises (Jefferson et al., 1999; Otterpohl et al., 1999; Eriksson et al., 2002; Ottoson and Stenström, 2003 citado por (Li et al. 2009), sin embargo algunos autores excluyen las aguas de la cocina de los flujos de aguas grises por el alto contenido de grasas, aceites y materia orgánica (Al-Jayyousi, 2003; Christova-Boal et al., 1996; Little, 2002; Wilderer, 2004 citado por (Li et al. 2009)

También a nivel residencial se realiza el manejo y drenaje de las aguas lluvias que se capturan de las cubiertas de las edificaciones presentando una calidad aceptable.

Esta agua al recolectarse y transitar por las vías, andenes, calles y sistemas de alcantarillado modifican su calidad presentan órdenes de magnitud en los parámetros de calidad comparables con aguas residuales típicas como se presenta en la Tabla 10 (Fresno et al. 2005; Torres 2004).

Tabla 10 Calidad de aguas residuales municipales

Parámetro	Escorrentía urbana			Alcantarillado combinado		Aguas residuales
	Mean of Duncan's dataset (1999)	U.S. NURP Median site (U.S. E.P.A., 1983)	Ellis (1991), Philippe y Ranchet (1978), Memento Degremont (1989)	European CSO data (Marsalek et al., 1993)	Ellis (1991), Philippe y Ranchet (1978), Memento Degremont (1989)	Ellis (1991), Philippe y Ranchet (1978), Memento Degremont (1989)
Sólidos suspendidos totales SST (mg/l)	150	100	21-2600	50-430	176-2500	150-500
Fósforo total (mg/l)	0,35	0.33	0,02-4.3	2,2-10	6,5-14,0	10-25
Nitrógeno Total (mg/l)	2,6	-	4-20	8-12	21-28.5	30-100
Demanda química de oxígeno DQO (mg/l)	80	65	20-500	150-400	42-900	300-1000
Demanda biológica de oxígeno. DBO (mg/l)	14	9	3-184	45-90	15-301	100-400
Aceites y grasas (mg/l)	8,7	-	-	-	-	-
Plomo - Pb (mg/l)	0,140	0,144	-	0,01-0,10	-	-
Zinc - Zn (mg/l)	0,240	0,160	-	0,06-0,40	-	-
Cobre - Cu (mg/l)	0,050	0,034	-	-	-	-
Coliformes totales (FCU/100 ml)	8000	-	-	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	-	-

Fuente: (Chernicharo 2001; Marsalek et al. 2006)

## 8.2.2 Caracterización de alternativas

### 8.2.2.1 Reducción en el origen

#### Hábitos de consumo

La demanda de agua urbana está relacionada con diferentes dinámicas donde influyen factores sociales, demográficos, económicos y territoriales que de una u otra forma transforman los consumos e impactan las estrategias basadas en gestión de la demanda. Entre estos factores se encuentra: el precio del agua, tamaño y composición del hogar, tamaño y tipología de viviendas, género y edad de la población, nivel de ingresos, medidas ahorradoras y de conservación, efectos climáticos, distribución, densidad y proyección de población, usos del suelo y red vial (Velásquez 2009).

Las dificultades generadas en los últimos años han impulsado estrategias para disminuir la competencia por el recurso hídrico, entre estas los cambios en la estructura del precio de agua que afectan el consumo de agua urbana (White et al., 2003 citado por (Velásquez 2009)) y la introducción de políticas y medidas que permitan darle un mejor uso al recurso (Pedregal, 2004, Anderson, 2006 citado por (Velásquez 2009)).

Entre las medidas alternativas de gestión de la demanda se encuentran las campañas educativas e informativas orientadas a sensibilizar a la población acerca de la escasez real del recurso, programas de incentivos por la utilización de tecnologías ahorradoras de agua o bien medidas dirigidas a mejorar la eficiencia del sistema de distribución evitando fugas o tomas ilegales (Pedregal, 2004 citado por (Velásquez 2009)).

Las llamadas al ahorro voluntario de agua han sido hasta el momento la única medida adoptada por las instituciones para reducir la demanda sin embargo queda un amplio margen de actuación en materia de educación ambiental y concienciación ciudadana, con vistas a intensificar las actitudes conscientes en el uso del agua. Los programas de ahorro persiguen una reducción del consumo de agua sin que medien intervenciones técnicas sobre los sistemas de distribución o sobre los equipos o dispositivos de consumo. Incluyen las campañas de comunicación para incentivar el ahorro (Estevan 2000).

La implementación de medidas de concientización, los programas de ahorro y uso eficiente, el cambio de aparatos de bajo consumo como sanitarios ahorradores de agua, duchas y griferías aireadas, conllevan a la disminución de los consumos de agua lo cual permite obtener volúmenes adicionales generando la posibilidad de atender a nuevos usuarios sin necesidad de recurrir a nuevas fuentes generando ahorros de hasta un 50% en las inversiones requeridas. En México se obtuvieron hasta 500 litros/segundo, New York 114.000 a 190.000 m<sup>3</sup> por día, California 223.000 m<sup>3</sup> por día, estos como resultado de un plan de uso eficiente y ahorro de agua (Sánchez and Sánchez 2004) medidas que representaron para los usuarios de igual forma ahorros en su facturación mensual. A nivel industrial también se encuentran experiencias de ahorro de agua, prácticas en una cervecería en Ghana-África se vincularon los trabajadores en la identificación de puntos neurálgicos de uso de agua y a través de su control y buenas prácticas se obtuvo una reducción del consumo del agua del 13.3% (Puplampu and Siebel 2005).

#### Aparatos de bajo consumo

Los desarrollo tecnológico ha permitido hacer uso del agua de manera fácil y asequible en las distintas actividades del hogar como el consumo directo, aseo personal y del hogar, la evacuación de excretas y actividades recreativas y de ornato como piscinas y riego de jardines (Makropoulos et al. 2008b), a continuación se listan los equipos empleados para cada uno de estos usos, y se describen las características de los mismos y su disponibilidad en el mercado principalmente nacional.

#### **Uso del agua**

Ingesta y preparación de alimentos  
Aseo personal y riego  
Aseo del hogar  
Evacuación de excretas

#### **Aparato sanitario**

Grifería en lavaplatos  
Grifería en duchas y lavamanos  
Grifería en lavadoras y lavaderos  
Baterías sanitarias

### ***Grifería con aireadores***

Las griferías son los dispositivos que se utilizan en lavamanos lavaplatos y duchas. En la actualidad se disponen de sistemas automáticos con aireadores incorporados, que mediante la inyecci3n de aire al agua (ver Figura 20) permite disminuir la demanda de agua hasta un 70% del consumo convencional, sin afectar el nivel de satisfacci3n del usuario.

En el mercado se encuentran dispositivos con flujos desde 0.3 l/min hasta 9 l/min en griferías de lavamanos y lavaplatos. En cuanto a duchas ahorradoras los caudales varían desde 5.6 l/min hasta 8.7 l/min. En promedio, las duchas y regaderas que cuentan con este dispositivo pueden contribuir con un ahorro del 54%, mientras que las griferías de los lavamanos y lavaplatos pueden ahorrar hasta un 40% en promedio en el consumo del líquido.



Figura 20 Sistema de inyecci3n de aire en griferías

### ***Griferías en lavaplatos***

Chorro de lluvia con caudal de 1.9 L/min para el lavado de utensilios, aunado a un dispositivo de llenado de recipientes de 8.3 L/min. En una familia de 5 persona el consumo convencional en este uso es de aproximada 3.8 m<sup>3</sup>/mes, el uso de este dispositivo permitiría llegar a un consumo de 1.2 m<sup>3</sup>/mes.

### ***Griferías en Lavamanos***

Disponibilidad de dos tipos de griferías, ahorradoras y ultra ahorradoras: la primera línea genera consumo de 8.3 L/min a una presi3n de 60 psi, la segunda línea gracias a un dispositivo de control de presi3n genera un caudal constante de 5.6 L/min. En una familia de 5 persona el consumo convencional en este uso es de aproximada 3.6 m<sup>3</sup>/mes, el uso de este dispositivo permitiría llegar a un consumo de 1.3 m<sup>3</sup>/mes.

### ***Baterías sanitarias***

En 1596 Sir John Harrington inventó el inodoro con lavado de sólidos (Water Closet, WC) el cual permitió evacuar de la vivienda las excretas de una forma práctica y segura para el usuario. Aunque esta tecnología estuvo accesible únicamente a las clases más pudientes en Europa varios siglos después se popularizó y mostró su verdadero potencial (Gómez 2009).

Esta tecnología actualmente demanda aproximadamente el 40% del consumo de agua potable en un hogar donde el 75% de este consumo se realiza con la intención de evacuar desperdicios líquidos únicamente (El espectador 2009).

Aunque con el paso del tiempo y las necesidades de ahorro y uso eficiente del agua la demanda del recurso se ha optimizado pasando desde consumos de 18 L por descarga a una oferta tecnológica que contempla sistemas secos, sanitarios de descarga variables según el residuo a evacuar o sistemas de alta eficiencia con consumos de los 2.3 hasta los 6 L. La normatividad colombiana a través de la ley 373 de 1997 en la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua y específicamente en su decreto 3102 de 1997 se presenta como obligatorio en los nuevos proyectos la instalación de estos dispositivos. A continuación se describen las principales características de estos equipos y en la Tabla 11 se presentan una breve descripción y disponibilidad a nivel local.

Los sistemas de alta eficiencia hacen alusión a equipos que requieren bajos volúmenes para la descarga de orina y heces (Ver Figura 21) con consumo de 2.3 L/descarga. Los sistemas de bajo consumo se refieren a los equipos sanitarios que utilizan tanques de de 6 litros por descarga, de los cuales se encuentra alta disponibilidad y aceptación en el mercado por la practicidad en operación y mantenimiento.



Figura 21 Sistemas de alta eficiencia de 2.3 L  
Fuente: (GBA 2010)

Los sanitarios doble descarga debido a su sistema doble pulsador, permiten seleccionar el volumen de descarga dependiendo de la naturaleza del residuo a evacuar; pues esta funcionalidad permite un ahorro considerable respecto a los sistemas habituales, ya que según investigaciones adelantadas por los laboratorios de CORONA (proveedor de sistemas sanitarios en Colombia), se ha definido que el promedio de descargas diarias en un sanitario por persona es de 4 donde el 75% de las veces es

para evacuar orina. Los sanitarios de doble descarga importados de la China se presentan en la Figura 22 y los comercializados en el mercado Alemán en la Figura 23.



Figura 22 Sanitarios doble descarga comercializados por GBA  
Fuente: (GBA 2010)



Figura 23 Sanitarios doble descarga comercializados en Europa  
Fuente: (Berger-biotechnik 2010)

Otra tecnología son los sanitarios separadores con agua, el cual es un mecanismo introducido y utilizado en países como Suecia, desde principios de los noventa desviadores de orina teniendo como grupo objetivo las viviendas unifamiliares, las casas de verano y pocas eco-aldeas. A mediados de los noventa pocos edificios multifamiliares y áreas residenciales en asentamientos urbanos fueron construidos con desviación de orina. Estos dispositivos funcionan evacuando los líquidos sin la descarga de agua y los sólidos con un bajo volumen manteniendo un sello hidráulico en el sanitario (Ver Figura 24). (Kvarnström et al. 2006).



Figura 24 Sanitarios separadores de excretas con agua  
Fuente: (Kvarnström et al. 2006)

Para el control de contaminación en el marco del uso eficiente se promueve el saneamiento seco; esta es una práctica moderna en la cual la evacuación de las excretas humanas se realiza sin el uso de agua, y por lo tanto, sin drenaje. Implica a) sanitarios y/o orinales que no requieren de agua para su funcionamiento; b) el tratamiento de las excretas en el mismo lugar de su generación; y c) la producción de un abono fértil y seguro. Sus beneficios incluyen ahorrar una gran cantidad de agua, reducir la contaminación del agua, reducir el volumen de las excretas, inviabilizar patógenos y retener en un solo lugar los nutrientes que pueden ser posteriormente aplicados a cultivos agrícolas (Córdova 2001).

Estos sistemas superan los sistemas de 'fin de tubería' que están orientados a la eliminación y no al reciclaje de componentes valiosos, y que no favorecen la recuperación de recursos (Rakelmann 2003). El saneamiento seco se basa en un enfoque ecosistémico y el cierre de los ciclos de material y energía tal como se presenta en la Figura 25 en donde la excreta humana y las aguas de las viviendas son reconocidas como un recurso y no un residuo (Langergraber and Muellegger 2005).

A pesar de que muchos han propuesto el saneamiento seco como una importante estrategia para zonas urbanas, la experiencia a gran escala y en asentamientos urbanos es todavía limitada (Holmberg, 1998; Winblad, 2000; Esrey, 2002 citado por (Córdova and Knuth 2003; Langergraber and Muellegger 2005).

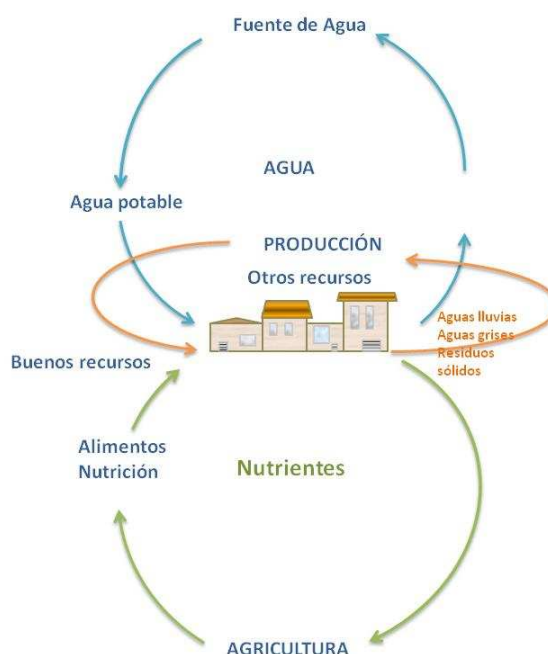


Figura 25 Flujo circular en enfoque Ecosan

En Colombia a nivel urbano, en el marco de esta línea, se promueve principalmente para el sector comercial, orinales totalmente secos que no requieren agua para su descarga. Se encuentran sistemas que utilizan como sello para el control de olores una válvula en látex (Ver Figura 26) o sistemas que funcionan con sello hidráulico de aceite (Ver Figura 27).

La Tabla 11 presenta un resumen de las tecnologías y características de aparatos de uso eficiente presentadas.



Figura 26 Orinal seco de sistema con sello de látex



Figura 27 Orinal seco de sistema con sello de aceite

Tabla 11 Descripción y características principales de sistemas para la evacuación de excretas

	Volumen por descarga (L)	Mecanismo de funcionamiento	Proveedor/País disponibilidad
<b>Sistemas de alta eficiencia</b>	0.75 2.3	Descarga con sistema de inyección a presión	Suiza GBA (Colombia)
<b>Sistema de bajo consumo</b>	6		Mancesa, Corona, Alpha (Colombia)
<b>Sistema de doble descarga</b>	4.8 orina - 6 fecales 2 orina - 3 fecales* 3 orina - 4.5 fecales* 3.5 orina - 4.5 fecales* 2 orina - 4 fecales*/*	Descarga según diseño de carga hidráulica doble en el tanque del sanitario	Corona, (Colombia) (GBA 2010) (China)
<b>Sanitarios separadores</b>	0 orina - 4 fecales		Berger-biotechnik (Alemania)
<b>Sanitarios y orinales secos</b>	0		Suecia GBA

(GBA 2010) Disponibilidad en Colombia importado desde China \* Ver Figura 22

\*/\* Ver Figura 23 (Berger-biotechnik 2010).

### 8.2.2.2 Técnicas de reutilización en el sitio

Las investigaciones alrededor del abastecimiento y saneamiento sostenibles invitan a repensar los sistemas de agua en los cuales se consideran las fuentes, los usos y las posibles calidades que se requieren y a su vez que se genera asociada a cada actividad (Makropoulos et al. 2008b; Mitchell 2006; Nhapi and Gijzen 2005; Siebel and Gijzen 2002). Esta nueva filosofía lleva al reconocimiento de fuentes alternas de agua como las aguas lluvias y las aguas grises las cuales ofrecen un gran potencial para diversos usos.

Las nuevas prácticas promueven el uso de aguas grises y las aguas lluvias de manera individual o combinada, promoviendo el ahorro de agua potable y la minimización de la contaminación, puesto que actividades como riego de jardines, y vaciado de baños es factible realizarlo con aguas grises y el aseo del hogar y el lavado de ropa con aguas lluvias (Franken 2007). A continuación se hace una descripción de los sistemas, mecanismos de incorporación, e implicaciones en la adaptación de este tipo de alternativas.

#### Uso de aguas lluvias

El aprovechamiento de las aguas lluvias es una práctica que data de 4.000 años a.C. hasta los sistemas actuales, los cuales se utilizan intensivamente en muchas zonas del planeta con múltiples usos y propósitos. Diferentes formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones; pero estas tecnologías sólo se han comenzado a estudiar y publicar recientemente. Las técnicas de captación de agua de lluvia cumplen un papel importante en la producción agrícola y en satisfacer las necesidades domésticas, con un uso intensivo en las regiones áridas o semiáridas del planeta (Ballén et al. 2006a).

El agua lluvia es un componente que hace parte del ciclo hidrológico. Los sistemas de captación de agua lluvia interceptan el fluido antes de continuar en el ciclo natural para su aprovechamiento en múltiples usos. Se caracterizan por la recolección, concentración y almacenamiento del agua que corre por una superficie natural o artificial. Dependiendo de las condiciones ambientales y locales, el agua lluvia puede considerarse para proporcionar un sistema de abasto complementario, o único. Las características de calidad de agua encontradas en un estudio en Buenaventura (Valle) se presentan en la Tabla 12 de los cuales depende el potencial uso y los requerimientos de tratamiento. Esta calidad está sujeta al mantenimiento de los sistemas de captación y almacenamiento El tipo de sistema deberá ser el resultado del análisis de las condiciones locales considerando variables técnicas, sociales, ambientales y económicas, la Figura 28 ilustra las opciones para aprovechar el agua lluvia como sistema de abasto. (Sánchez and Caicedo 2003).

Tabla 12 Calidad de agua lluvia

Punto	Coliformes fecales (UFC/100 ml)	Turbiedad (UNT)	Color real (UPC)	pH
Agua lluvia que cae de la atmosfera	0	1.2	2	6.8
Agua que cae del techo	44	1.2	9	7
Tanque de zinc	18	0.87	9	7.2
Tanque de asbesto cemento	3	0.82	6	7.8
Tanque de PVC	34	0.85	6	7

Fuente: (Sánchez and Caicedo 2003)



Figura 28 Opciones para aprovechar el agua lluvia

En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua. Las componentes de un sistema de captación de agua lluvia son (CEPIS et al. 2001):

- Captación
- Recolección y conducción
- Interceptor
- Almacenamiento
- Tratamiento

La captación está conformada por el techo de la vivienda, el mismo que debe tener una pendiente no menor al cinco por ciento (5%) en dirección a las canaletas de recolección del agua de lluvia. Las coeficientes de escorrentía a ser aplicados, según el material constructivo del techo son (CEPIS et al. 2003):

Calamina metálica	0.90
Tejas de arcilla	0.80 - 0.90
Madera	0.80 - 0.90

Recolección y conducción conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo y el sistema de bajantes. El material debe ser liviano, resistente, fácil de unir entre sí, debe combinar con los acabados de las instalaciones (zonas urbanas), que no contamine con compuestos orgánicos o inorgánicos; por lo que se recomienda se coloquen mallas que detengan basura, sólidos y hojas, para evitar la

obstrucción del flujo en la tubería de conducción. Las canaletas descritas se presentan en la Figura 29.

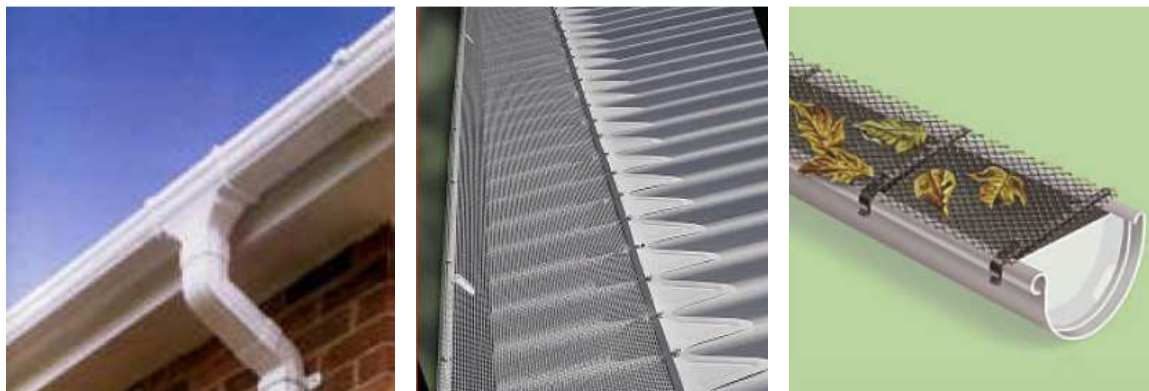


Figura 29 Canaletas de recolección de aguas lluvias

Interceptor: Dispositivo dirigido a captar las primeras agua de lluvia correspondiente al lavado del área de captación y que pueden contener impurezas de diversos orígenes. En el instante en que se llene el interceptor se crea un by pass para que el agua sea conducida al tanque de almacenamiento directamente. El volumen del interceptor se calcula como 1 litro por cada metro cuadrado de cubierta, debido a que se necesita 1 mm de lluvia para lavar un metro cuadrado. El diseño del interceptor debe adaptarse al diámetro de la bajante. La parte superior del interceptor deberá contar con un dispositivo de cierre automático una vez que el tanque de almacenamiento del interceptor se haya llenado con las primeras agua de lluvia. El fondo del tanque de almacenamiento del interceptor deberá contar con grifo o tapón para el drenaje del agua luego de concluida la lluvia: (Ballén et al. 2006b; CEPIS et al. 2001; 2003) Los elementos descritos se presentan en la Figura 30.

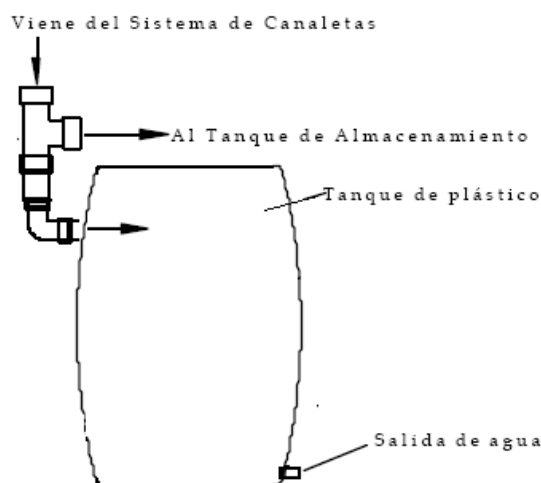


Figura 30 Tanque interceptor aguas de primer lavado

Tanque de almacenamiento es el componente más costoso del sistema de aguas lluvias. El tamaño está directamente asociado con variables como la precipitación local, la demanda, la proyección del

periodo seco, el área de captación, la estética, preferencias personales y el presupuesto. Los materiales en los cuales se pueden construir o adquirir los tanques son fibra de vidrio, polipropileno, madera, metal, concreto y ferrocemento como los que se presentan en la Figura 31 (Texas Water Development Board 2005).



Tratamiento está dirigido a la remoción de las partículas que no fueron retenidas por el dispositivo de intercepción de las primeras aguas, y en segundo lugar al acondicionamiento bacteriológico. El tratamiento puede efectuarse por medio de sistemas de filtración en arena seguido de desinfección con cloro (CEPIS et al. 2001)

La red de distribución de agua lluvia es una red paralela a la red de suministro, pero solo llega a los puntos hidráulicos donde se utilizará el agua lluvia, así que debe protegerse la red de suministro de agua potable con un cheque para evitar que el agua lluvia se mezcle con el agua potable. Si la ubicación del tanque de almacenamiento no proporciona la suficiente cabeza para el funcionamiento adecuado de los aparatos, es necesario dotar a la instalación de una bomba para impulsar el agua hacia los puntos hidráulicos (Ballén et al. 2006b)

En el ANEXO 2 Pesos de criterios de selección

ANEXO 3 Apoyo institucional alternativas de minimización y prevención

ANEXO 4 se presenta el cálculo del volumen de almacenamiento, sistema de filtración y los costos asociados a la implementación de un sistema de aguas lluvias en una casa y en un edificio.

### Uso de aguas grises

Las aguas grises son una fracción significativa dentro de las aguas residenciales domésticas, constituyen entre un 50–80% del total de las aguas residuales de las viviendas (Eriksson et al., 2003; Friedler and Hadari, 2006 citado por (Al-Jayyousi 2003; Li et al. 2009), las cuales presentan bajas concentraciones de contaminantes fecales, lo cual facilita que los sistemas locales sean fácilmente adaptables para su reutilización (Ottoson and Stenström 2003).

El uso de las aguas grises tratadas es factible en actividades domésticas (Al-Jayyousi 2003; Sutherland 2008) como la descarga de la cisterna del inodoro, el lavadero, la lavadora, el riego de jardines, lavado de pisos y de exteriores (Liu et al. 2010; Mejia et al. 2004; Sierra 2006) en campos de golf, fertilización de maíz y recargas de aguas subterráneas (Ottoson and Stenström 2003). Los países líderes en el reutilización de aguas grises son USA, Japón, Australia, Alemania, Canadá, Suecia, el Reino Unido, Arabia Saudita, Chipre y Jordania (Al-Jayyousi 2003).

El uso de aguas grises genera ahorros económicos pues reduce el consumo de agua potable hasta un 38% (Al-Jayyousi 2003) a pesar de los requerimientos de sistemas hidrosanitarios duales para su transporte (Sutherland 2008).

Considerando que las aguas grises contienen indicadores fecales (Birks and Hills 2007; Ottoson and Stenström 2003; Sutherland 2008; Winward et al. 2008) lo cual puede ser un riesgo para la salud humana por presencia de microorganismos patógenos se requiere la implementación de sistemas de tratamiento que disminuyan la concentración de microorganismos y otras sustancias contaminantes que confieran al agua color u olor (Winward et al. 2008). Los microorganismos fecales de las aguas grises tienen procedencia del lavado de ropa contaminada de heces, la ducha, lavarse las manos después de haber defecado, al bañar a un bebe, al tener cualquier tipo de contacto con pañales, y/o al lavar los vegetales y carnes crudas (Eriksson et al., 2002 citado por (Ochoa 2007).

Los riesgos a la salud humana depende de la fuente del patógeno, del tratamiento aplicado y de la exposición de fugas, lo que implica que la re-utilización de estas aguas debe tratarse con precaución, por lo cual en diferentes países se han presentado guías de características fisicoquímicas y bacteriológicas para los distintos usos del agua residual (ver La Tabla 13)

Tabla 13 Normas de reuso de aguas residuales en diferentes países

	pH	STD (mg/l)	Turbiedad (UNT)	DBO5 (mg/l)	Detergentes (Aniónico mg/l)	Nitrógeno total	Nitrógeno amoniacal (mg/l)	OD (mg/l)	Cloro residual <small>(Free-Cl)</small>	Coliformes totales	Coliformes fecales	Uso
Nolde, 1999, Alemania	-	-	-	5	-	-	-	>50%		<100/ml	<10/ml	Descarga de baños
Ernst et al., 2006, China	6-9	<1500	<5	<10		-	<10		> 1 antes de 30 min		<3/100 ml	Descarga de baños
	6-9	<1000	<20	<20	1	-	<20	>1	>0.2 en el punto de uso		<3/100 ml	Riego
	6-9	>1000	<5	<6	1	-	<10				<3/100 ml	Lavado
	6-9	-		<6	0.5	15	<5	>1.5	-		<10.000/100 ml	Embalses y lagos restringidos
	6-9	-	<5	<6	0.5	15	<5	>2	-		<500/100 ml	Embalses y lagos no restringidos
Asano, 2007, USA	6-9	-	<2	10	0.5	-	-	-	1		No detectable	Descarga de baños, riego de áreas verdes, lavado de carros y riego agrícola
	6-9	-		30	-	-	-	-	1		<200/100 ml	Riego de área de acceso público como campos de golf, cementerios, zonas residenciales
Maeda et al., 1996, Japón	5.8-8.6	-	NP	<20	-	-	-	-		<1000/ml	-	Descarga de baños
	5.8-8.6	-	NP	<20	-	-	-	-	>0.4	<50/ml	-	Riego de campos
	5.8-8.6	-	<10	<10	-	-	-	-		<1000/ml	-	Riego áreas ambientales pasajísticas
	5.8-8.6	-	<5	<3	-	-	-	-		<50/ml	-	Riego de áreas de contacto público
Australia, Queensland (2003)	-	-	-	-	-	-	-	-		<100/100 ml	-	

NP: No perceptible

Fuente:(Li et al. 2009)

En particular para el tratamiento del agua gris existe una amplia oferta tecnológica que incluye sistemas físicos, químicos o biológicos (Franken 2007; Li et al. 2009; Winward et al. 2008), siendo estos últimos factibles ya que estas aguas presentan una relación de DBO/DQO de 0.5 (Hernandez et al. 2007 y Knerr et al. 2008 citado por (Li et al. 2009)).

La mayoría de estas tecnologías presentan la remoción de sólidos como pre-tratamiento, seguido de un tratamiento y finalmente un paso de desinfección (Li et al. 2009; Ridderstolpe 2004). La selección del sistema de tratamiento debería cumplir con cuatro criterios (Nolde 2000):

- Seguridad relacionada con la higiene
- Estética
- Tolerancia medioambiental
- Viabilidad técnica y económica

Li y otros, realizaron una revisión de las tecnologías para el tratamiento de las aguas grises, la Tabla 14 presenta el resumen de las combinaciones tecnológicas analizadas por diferentes autores y los parámetros medidos en los efluentes (Li et al. 2009).

Tabla 14 Tecnologías para el tratamiento de aguas grises

Referencia	Proceso	SST		Turbiedad		DQO		DBO		NT		PT		Coliformes Totales		Coliformes Fecales	
		(mg/l)		(UNT)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(cfu/100 ml)		(cfu/100 ml)	
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
PROCESOS FÍSICOS																	
Gerba et al. (1995)	Filtros empacados	19	8	21	7	-	-	-	-	-	-	-	-	2×10 <sup>8</sup>	2×10 <sup>6</sup>	-	-
Ward et al (2000)	Filtro en arena + Membrana+Desinfección	-	-	18	0	65	18	23	8	-	-	-	-	-	-	-	-
Brewer et al. (2000)	Filtración+Desinfección	-	-	21	7	15	7	47	-	-	-	-	-	-	2×10 <sup>5</sup>	13	-
CHMC (2002)	Pantalla+Sedimentación + Filtro Multi-media+ Ozonación	67	21	82	26	-	-	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hills et al. (2003)	Filtración Gruesa+Desinfección		35		40		166		40						ND		
March et al. (2004)	Pantalla+Sedimentación + Desinfección	44	19	20	17	171	78	-	-	11.4	7.1	-	-	-	-	-	-
Itayama et al. (2004)	Filtro suelo	105	23	-	-	271	40.6	477	81	20.7	4.4	3.8	0.6	-	-	-	-
Sostar-Turk et al. (2005)	Membranas UF	35	18	-	-	280	130	195	86	-	-	-	-	-	-	-	-
	Membranas NF	28	0	30	1	226	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Membranas RO	18	0	-	-	130	3	86	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Prathapar et al. (2006)	Filtración+Carbón Activado +Filtro de arena+Desinfección	9	4	13	6	51	35	-	-	-	-	-	-	>200	0	-	-
(March et al, 2004).	Filtración+ Sedimentación+ Desinfección (hipoclorito)	20,0 - 126,0	15,0 - 23,0	5,0- 62,0	5,6- 42,0	39,0 - 441,0	24,0 - 118,0	-	-	4,7- 40,0	3,2- 11,8	-	-	neg	neg	-	-
Al-Hamaiedeh et al, 2010	Sedimentación+ Filtración (tanque)+ Filtración (tanque) y Sedimentación+ filtración(lecho)	23- 358	12- 312	-	-	92- 2263	36- 763	110- 1240	10- 421	0,44 - 0,93	<0,2	-	-	Alta	Alta	-	-
Dallas et al, 2004	Filtración (humedal)	-	-	57- 135	1,0- 6,0	-	-	120,0- 214,0	0,0- 5,0	-	-			0,0- 4,6x10 <sup>8</sup>	155- 692	-	-
Gross et al, 2007	RVFB	43,0 - 49,0	3	-	-	308,4- 369,6	41,1 - 52,1	-	-	-	-	1,7- 2,1	0,4- 0,6	-	-	-	-
Al-Jayyousi et al, 2003	Filtro de arena+ membrana	-	-	44,5	0,34	143	22,2	33,3	4,7	-	-	-	-	-	-	-	0
Al-Jayyousi et al, 2003	Membrana+ oxidación avanzada+ coagulación	-	-	12- 100	2,41	86- 410	30	25- 185	-	-	-	-	-	2- 310x10 <sup>3</sup>	-	-	-
PROCESOS QUÍMICOS																	
Lin et al. (2005)	Electro-coagulación +Desinfección	29	9	43	4	52	22	23	9	-	-	-	-	2×10 <sup>8</sup>	2×10 <sup>6</sup>	-	-
Sostar-Turk et al. (2005)	Coagulación+ Filtro arena+ GAC	35	<5	-	-	280	20	195	10	-	-	-	-	-	-	-	-
Pidou et al. (2008)	Coagulación con sal de aluminio	-	-	46.6	4.28	791	287	205	23	18	15.7	1.66	0.09	-	<1	-	-
Pidou et al. (2008)	Intercambio iónico con resina magnética	-	-	46.6	8.14	791	272	205	33	18	15.3	1.66	0.91	-	<59	-	-

Referencia	Proceso	SST		Turbiedad		DQO		DBO		NT		PT		Coliformes Totales		Coliformes Fecales	
		(mg/l)		(UNT)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(cfu/100 ml)		(cfu/100 ml)	
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
PROCESOS BIOLÓGICOS																	
Nolde (1999)	Sedimentación+ RBC+ Desinfección UV	-	-	-	-	100 – 430	-	50–250 BOD <sub>7</sub>	<5 BOD <sub>7</sub>	5–10	-	0.2–0.6	-	10 <sup>4</sup> –10 <sup>6</sup>	<10 <sup>3</sup>	10–108	<10 <sup>2</sup>
Nolde (1999)	Reactor lecho fluidizado+ Desinfección UV	-	-	-	-	113 – 633	-	70–300 BOD <sub>7</sub>	<5 BOD <sub>7</sub>	-	-	-	-	10 <sup>3</sup> –10 <sup>5</sup>	<10 <sup>4</sup>	10–103	<10 <sup>3</sup>
Friedler et al. (2005)	Pantalla+ RBC+ Filtración en arena+ Cloración	43	7.9	33	0.61	158	40	59	2.3	-	-	4.8	2	-	-	5.6×10 <sup>5</sup>	0.1
Elmitwalli et al. (2007)	UASB	-	-	-	-	681	469.9	-	-	27.1	20.6	9.9	7.5	-	-	-	-
		-	-	-	-	647	381.7	-	-	27.1	20.6	9.7	7.6	-	-	-	-
		-	-	-	-	648	456.9	-	-	27.3	24	9.9	8,9	-	-	-	-
Gross et al. (2007)	Humedal Construido	158	3	-	-	839	157	466	0.7	34.3	10.8	22.8	6.6	-	-	5x10 <sub>7</sub>	2x10 <sub>5</sub>

Fuente: (Li et al. 2009)

Al analizar las caracteristicas de los afluentes y efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas grises, se encuentra que cada uno de estos aislado resulta insuficiente, para obtener los estandaros de las guias se requieren sistemas complementarios. Un resumen de estos esquemas se presenta en la Figura 32.

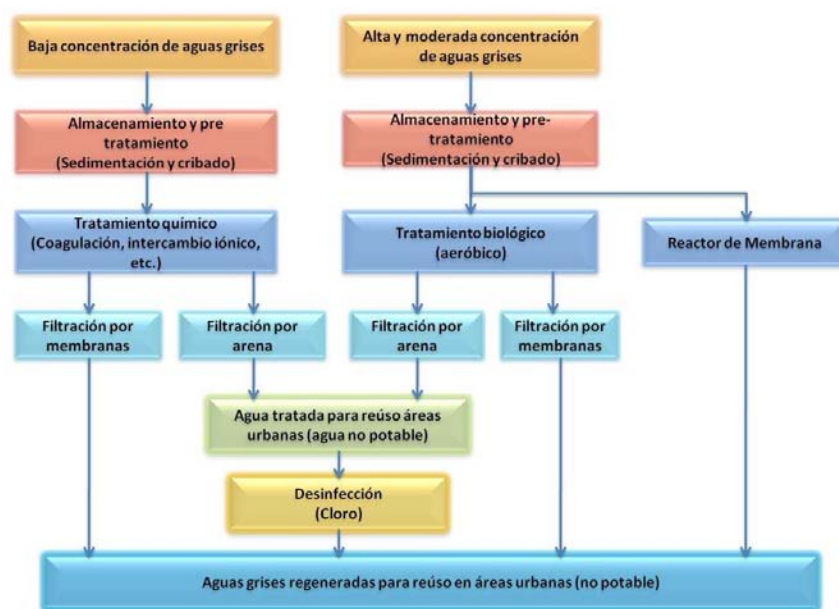


Figura 32 Esquemas de tratamiento de aguas grises

Fuente: (Li et al. 2009)

En el contexto local aplicación de sistemas por membranas o sistemas con requerimientos de químicos presentan restricciones ya que estos tienen altas demandas energéticas o de insumos químicos. En contra posición sistemas como la filtración en arena y los humedales resultan tecnologías más costo efectivas para el tratamiento de las aguas grises.

Estas tecnologías presentan considerables eficiencias de remoción de indicadores de contaminación tanto físicos como químicos y microbiológicos (Winward et al. 2008). Los sistemas de filtración en arena son ampliamente utilizados en el Reino Unido, con la ventaja que remueven patógenos (Jefferson et al., 2000 citado por (Liu et al. 2010); en estos sistemas los sólidos son removidos por procesos físicos y biológicos, la capa superficial es considerada una capa biológica activa donde la biodegradación se da en los primeros 20 cm del filtro alcanzando remociones de 90% en DBO<sub>5</sub> y 80% en DQO (Sabbah et al., 2003 citado por (Halalsheh et al. 2008).

Los humedales recientemente han captado atención en el tratamiento de aguas grises, experiencias en Centro América, ((Dallas et al. 2004), Medio Oriente (Gross et al. 2007) y el Reino Unido (Frazer-Williams et al., 2008 citado por (Liu et al. 2010) muestran altas tasas de remoción si se da un tiempo de retención apropiado. La remoción de los contaminantes ocurre por procesos físicos, químicos y biológicos que dependen de factores como la carga superficial aplicada y la disponibilidad de aceptor de electrones (Caselles-Osorio y Garcia, 2006 citado por (Halalsheh et al. 2008).

En el ANEXO 5 se presenta el cálculo de humedales subsuperficiales para el tratamiento de aguas grises, y los costos asociados con la implementación de un sistema de aguas grises tanto en una vivienda unifamiliar como en multifamiliares. Se considera el humedal para el tratamiento de las aguas grises ya que este tipo de sistemas presenta entre las ventajas la no producción de olores, mosquitos y lodos, resultando un sistema viable de implementar en las viviendas por la facilidad de operación y mantenimiento.

Otro factor de importancia además de los elementos técnicos es la aceptación de la reutilización del agua gris en las comunidades; sin embargo estudios realizados mediante encuestas han demostrado que la sociedad actual se está interesando por este proceso por beneficio propio y ambiental. Si a las aguas grises se les hace el tratamiento adecuado, éstas pueden ser seguras para la salud pública y para el medio ambiente. Las aguas grises más aceptadas para su re-uso son las provenientes de la ducha y la lavandería (Christova-Boala, et al., 1996 citado por (Ochoa 2007)

### 8.2.3 Formulación y preselección de estrategias

La formulación de estrategias de minimización y prevención están orientadas a minimizar el uso del agua y la dependencia de los recursos naturales y maximizar el reuso en las construcciones, aunado a la dotación de redes separadas donde se cruzan los límites de los sistemas y se maximiza el reuso del agua retomando elementos como los que presenta Holt (2005) en la Figura 33.

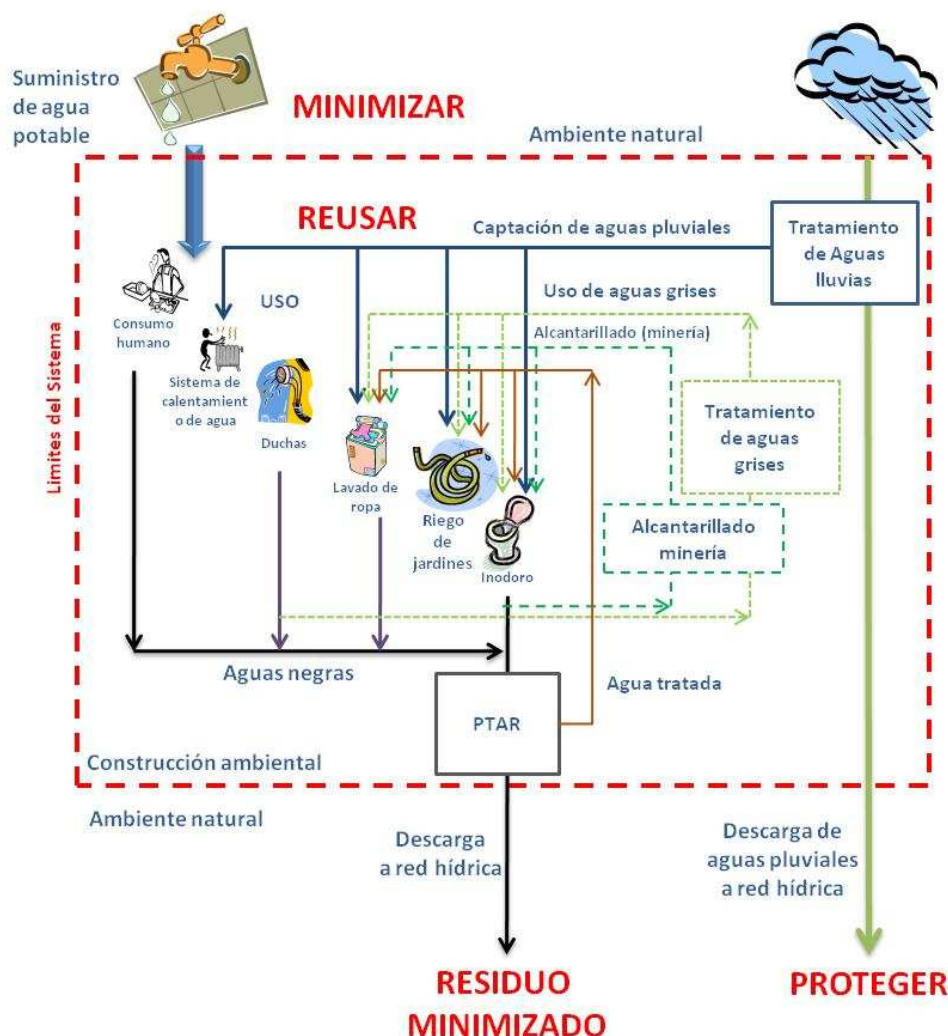


Figura 33 Ciclo del agua integrado con enfoque sistémico para reuso del agua con aplicaciones típicas urbanas  
Fuente: (Holt 2005)

Considerando los usos domésticos del agua presentados en el ítem 8.2.1 y las alternativas del ítem 8.2.2, surgen múltiples estrategias de minimización y prevención, al combinar las posibilidades de incorporación de los distintos aparatos de bajo consumo aunado a las posibles fuentes de abastecimiento.

Para la formulación de estrategias se parte de los aparatos de bajo consumo disponibles actualmente en el mercado colombiano y la fuente de agua con la que puede ser alimentado. La Figura 34 presenta un esquema donde se relacionan las posibilidades acorde a los usos, los equipos a implementar y la fuente de abastecimiento.

Las alternativas a presentar hacen énfasis en los aspectos tecnológicos, por lo cual se considera como una constante los hábitos de uso eficiente, teniendo en cuenta que la tendencia a nivel nacional es la disminución sustancial de los consumos de agua resultado de diversos cambios a nivel residencial tanto de aparatos como de prácticas a raíz de distintas medidas de presión ejercida por instrumentos tarifarios (Resolución de la Comisión de Regulación de Agua Potable No 493 de 2010) o campañas educativas y de sensibilización que generan la concientización del uso eficiente por parte de los usuarios.

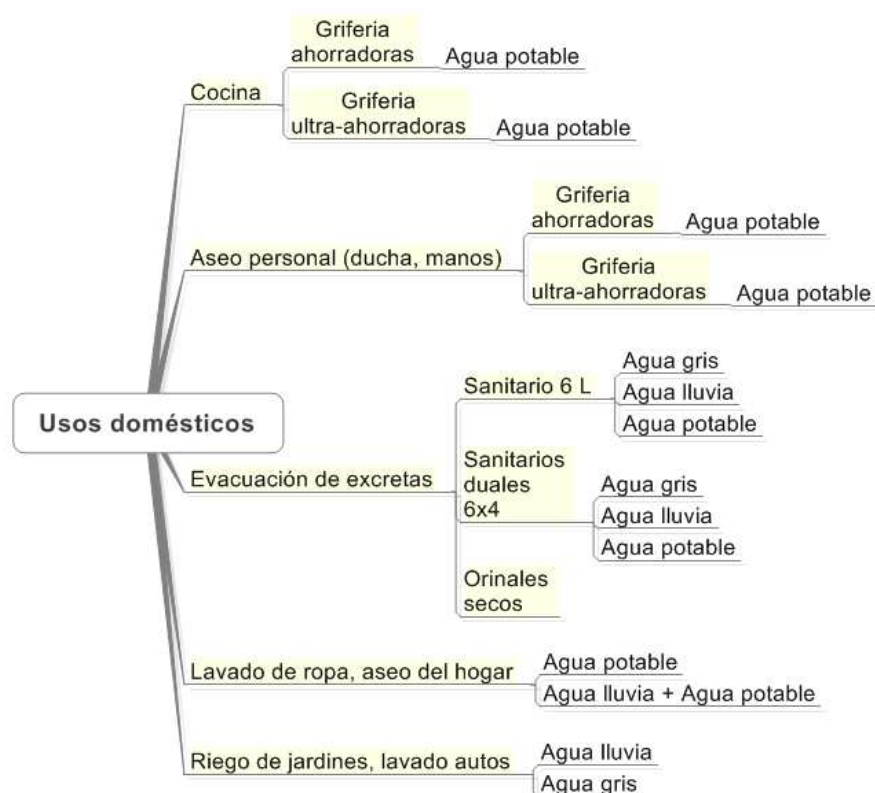


Figura 34 Opciones de minimización y prevención en la gestión del agua en la vivienda

Cabe resaltar que la implementación de los aparatos de bajo consumo en los nuevos proyectos de urbanización son de uso obligatorio desde el año 1998 lo cual está regulado a través de la ley 377 y su decreto numero 3102 de 1997.

Para la formulación de combinaciones se harán sobre la base de las siguientes consideraciones:

- Al implementar tratamiento de aguas grises se utilizarán tanto en descarga de baño como riego de jardines.
- No se considera el abastecimiento de agua lluvia para la descarga de baños, puesto que esta fuente en el área de estudio es irregular correspondiendo solo a dos periodos estacionales anuales, lo cual se encuentra que la tipología de vivienda corresponde en un 15% a vivienda unifamiliar y un 85% a vivienda multifamiliar, el crecimiento se proyecta en altura,

con densidades poblacionales entre 210.35 y 479.85 habitantes por hectárea con un promedio de 317 habitantes por Ha. Por consiguiente se formularán dos tipos de estrategias relacionadas con las posibilidades de uso de agua para vivienda unifamiliar y vivienda multifamiliar.

En la formulación de estrategias para viviendas en multifamiliar se considera un uso adicional que es el requerimiento de agua para el mantenimiento de zonas comunes. No se considera el uso del agua lluvia para el lavado de ropa ya que su distribución podría generar conflictos entre los usuarios de las unidades residenciales. La Tabla 15 presenta las estrategias formuladas acorde a las combinaciones para vivienda unifamiliar y en la Tabla 16 las asociadas con vivienda multifamiliar.

Tabla 15 Formulación de estrategias de uso de agua en viviendas unifamiliares

Tabla 15 Formulación de estrategias de uso de agua en viviendas unifamiliares							
Estrategia	Uso del agua	Cocina	Aseo personal	Evacuación de excretas	Lavado de ropa	Riego de jardines	
Aparato		Grifería ultra-ahorradora		Sanitario de 6L			
1	Fuente de agua	Potable		Potable	Potable	Potable	
2				Gris	Potable	Gris	
3				Gris	Potable+Lluvia	Gris	
4				Potable	Potable	Lluvia	
5				Potable	Potable+Lluvia	Lluvia	
Aparato		Grifería ultra-ahorradora		Descarga doble			
6	Fuente de agua	Potable		Potable	Potable	Potable	
7				Gris	Potable	Gris	
8				Gris	Potable+Lluvia	Gris	
9				Potable	Potable	Lluvia	
10				Potable	Potable+Lluvia	Lluvia	
Aparato		Grifería ultra-ahorradora		Alta eficiencia			
11	Fuente de agua	Potable		Potable	Potable	Potable	
12				Gris	Potable	Gris	
13				Gris	Potable+Lluvia	Gris	
14				Potable	Potable	Lluvia	
15				Potable	Potable+Lluvia	Lluvia	
Aparato		Grifería ultra-ahorradora		Orinal seco + sanitario 6 L			
16	Fuente de agua	Potable		Potable	Potable	Potable	
17				Gris	Potable	Gris	
18				Gris	Potable+Lluvia	Gris	
19				Potable	Potable	Lluvia	
20				Potable	Potable+Lluvia	Lluvia	
Aparato				Grifería ultra-ahorradora			Orinal seco + sanitario alta eficiencia
21	Fuente de agua	Potable		Potable	Potable	Potable	
22				Gris	Potable	Gris	
23				Gris	Potable+Lluvia	Gris	
24				Potable	Potable	Lluvia	
25				Potable	Potable+Lluvia	Lluvia	

Tabla 16 Formulación de estrategias de uso de agua en viviendas multifamiliares

Estrategia	Uso del agua	Cocina	Aseo personal	Evacuación de excretas	Lavado de ropa	Riego de jardines	Aseo de áreas comunes
Aparato		Grifería ultra-ahorradora		Sanitario de 6L			
1	Fuente de agua	Potable		Potable	Potable	Potable	Potable
2				Gris	Potable	Gris	Gris + Lluvia
3				Potable	Potable	Lluvia	Lluvia
Aparato		Grifería ultra-ahorradora		Descarga doble			
4	Fuente de agua	Potable		Potable	Potable	Potable	Potable
5				Gris	Potable	Gris	Gris + Lluvia
6				Potable	Potable	Lluvia	Lluvia
Aparato		Grifería ultra-ahorradora		Alta eficiencia			
7	Fuente de agua	Potable		Potable	Potable	Potable	Potable
8				Gris	Potable	Gris	Gris + Lluvia
9				Potable	Potable	Lluvia	Lluvia
Aparato		Grifería ultra-ahorradora		Orinal seco + sanitario 6 L			
10	Fuente de agua	Potable		Potable	Potable	Potable	Potable
11				Gris	Potable	Gris	Gris + Lluvia
12				Potable	Potable	Lluvia	Lluvia
Aparato		Grifería ultra-ahorradora		Orinal seco + sanitario alta eficiencia			
13	Fuente de agua	Potable		Potable	Potable	Potable	Potable
14				Gris	Potable	Gris	Gris + Lluvia
15				Potable	Potable	Lluvia	Lluvia

Al realizar un análisis del costo de inversión inicial y operación & mantenimiento incluyendo el consumo de agua en una unidad de vivienda, de incorporar las diversas combinaciones de aparatos para la evacuación de excretas un horizonte de 10 años (Ver Tabla 17), se encuentra que el uso de orinales secos no es competitivo con las demás opciones presentando altos costos para las familias, por lo cual no se consideran en el posterior análisis.

Por medio de encuestas se identificó que en los nuevos proyectos de vivienda hay preferencia por los sanitarios de doble descarga y alta eficiencia de 2.3 L. La Figura 35 presenta los resultados de dicha consulta donde se encuentra que 94% prefieren los equipos de mayor eficiencia, por lo cual el planteamiento y análisis de opciones se realizará incorporando sólo estos aparatos.

Tabla 17 An3lisis econ3mico de incorporaci3n de equipos de bajo consumo para la evacuaci3n de excretas

	Sanitario de 6L	Descarga doble	Alta eficiencia	Orinal seco + sanitario 6 L	Orinal seco + sanitario alta eficiencia
Inversi3n inicial (\$)*	330,000	430,000	800,000	1,490,000	1,490,000
Operaci3n y mantenimiento anual (\$)*	0	0	0	8614	8614
Gasto de agua (m3)**	3.6	2.7	1.38	2.52	0.97
Costo de consumo anual (\$)***	153,360	115,020	58,788	107,352	41,322
VPN en 10 a3os	1,300,500	1,157,875	1,172,025	2,130,638	1,736,595

\* Considerando dos unidades sanitarias por vivienda y precio de inversi3n inicial a 2010

\*\* Consumo de 5 personas por vivienda, con 3 descargas para evacuaci3n de orina y 1 evacuaci3n de excreta por persona

\*\*\* Tarifa promedio a3o 2010 estratos 4, 5 y 6 de acueducto y alcantarillado

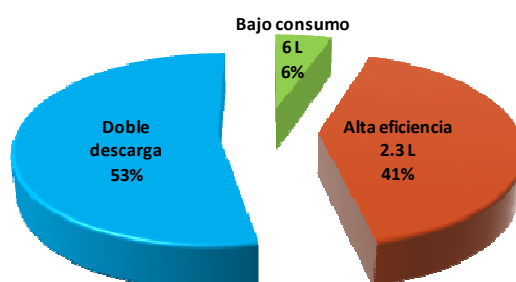


Figura 35 Preferencia de equipos sanitarios en la zona de expansi3n.

De las 25 combinaciones en vivienda unifamiliar y 15 de apartamentos, con las consideraciones mencionadas se reduce el an3lisis a las combinaciones para vivienda unifamiliar entre las estrategias 6 a 15 de la Tabla 15 y multifamiliar entre las estrategias 4 a 9 de la Tabla 16.

Con el objeto de manejar fuentes y usos bajo los mismos esquemas conceptuales entre casas y apartamentos, asociado a cada tecnolog3a de evacuaci3n de excretas, se formularon combinaciones de abastecimiento bajo los siguientes modelos (Figura 36): Las opciones combinadas de estrategias de casas se presentan en la Tabla 18.

- Agua potable en todos los usos
- Agua potable en cocina, aseo personal y lavander3a. Aguas grises en descarga de ba3os y riego de jardines.
- Agua potable en cocina, aseo personal y lavander3a. Aguas grises en descarga de ba3os y riego de jardines. Aguas lluvias complementando el uso en lavado de ropa, aseo y riego de jardines.
- Agua potable en cocina, aseo personal, lavander3a, descarga de ba3os y aseo. Aguas lluvias en riego de jardines

- v) Agua potable en cocina, aseo personal, lavandería y descarga de baños. Aguas lluvias en riego de jardines y aseo.

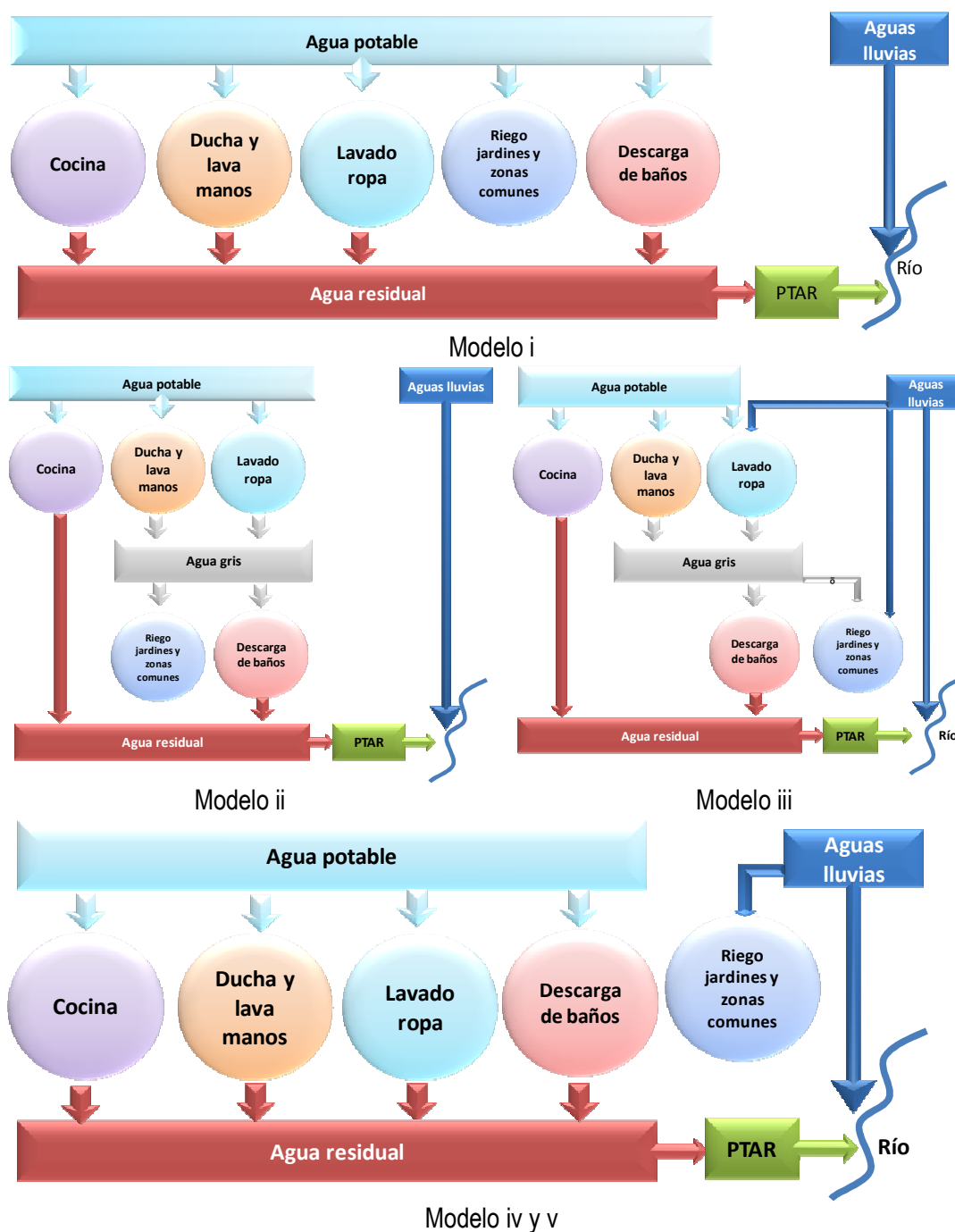


Figura 36 Modelos de uso del agua en el sector residencial

Tabla 18 Estrategias formuladas para la zona de expansi3n de Cali corredor Cali-Jamund3

Estrategia	Equipo de disposici3n de excretas	Opci3n casa unifamiliar*		Opci3n apartamento en multifamiliar	
		N3mero de estrategia y descripci3n		N3mero de estrategia y descripci3n	
a	Sanitario de doble descarga	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua potable en todos los usos</li> </ul>	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua potable en todos los usos</li> </ul>
b		7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua gris en descarga de ba3os y riego de jardines</li> <li>Agua potable en lavado de ropa</li> </ul>	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua gris en descarga de ba3os y riego de jardines</li> <li>Agua gris + Agua lluvia en limpieza de zonas comunes</li> </ul>
c		8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua gris en descarga de ba3os y riego de jardines</li> <li>Agua lluvia en lavado de ropa</li> </ul>		
d		9	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua potable en descarga de ba3os y lavado de ropa</li> <li>Agua lluvia en riego de jardines</li> </ul>	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua potable en descarga de ba3os</li> <li>Agua lluvia en riego de jardines y limpieza de zonas comunes</li> </ul>
e		10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua potable en descarga de ba3os</li> <li>Agua lluvia en lavado de ropa</li> <li>Agua lluvia en riego de jardines</li> </ul>		
f	Sanitario de alta eficiencia	11	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua potable en todos los usos</li> </ul>	7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua potable en todos los usos</li> </ul>
g		12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua gris en descarga de ba3os y riego de jardines</li> <li>Agua potable en lavado de ropa</li> </ul>	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua gris en descarga de ba3os y riego de jardines</li> <li>Agua gris + Agua lluvia en limpieza de zonas comunes</li> </ul>
h		13	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua gris en descarga de ba3os y riego de jardines</li> <li>Agua lluvia en lavado de ropa</li> </ul>		
i		14	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua potable en descarga de ba3os y lavado de ropa</li> <li>Agua lluvia en riego de jardines</li> </ul>	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua potable en descarga de ba3os</li> <li>Agua lluvia en riego de jardines y limpieza de zonas comunes</li> </ul>
j		15	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua potable en descarga de ba3os</li> <li>Agua lluvia en lavado de ropa</li> <li>Agua lluvia en riego de jardines</li> </ul>		

\* Agua potable en cocina, lavamanos y ducha

\*\* Agua potable en cocina, lavamanos, ducha y lavado de ropa

Las estrategias propuestas (a-j) presentan diferentes combinaciones en relaci3n a la posibilidad de uso de los aparatos de bajo consumo, fuentes alternativas de agua y los diferentes usos que se le pueden dar a estas acorde a las tipolog3as de vivienda. La Tabla 19 presenta las consideraciones tenidas en cuenta para el c3lculo de las demandas, producci3n de aguas residuales y aguas lluvia acorde a los usos y fuentes propuestas seg3n la tipolog3a de vivienda.

Los diferentes par3metros t3cnicos de manejo de agua como demandas, producci3n de agua residual, exceso a recolectar de agua lluvia, para toda la zona, van a depender de las caracter3sticas de proyecci3n urbana que tenga el 3rea de estudio y la tipolog3a de vivienda que se adopte en la misma. La Caja 1 presenta las caracter3sticas urbanas tenidas en cuenta para el c3lculo de los par3metros t3cnicos mencionados los cuales generan diversas implicaciones en funci3n de las estrategias adoptadas. La Tabla 20 presenta los c3lculos de los par3metros t3cnicos mencionados para la poblaci3n total proyectada de la zona.

Tabla 19 Demandas de agua por uso doméstico en viviendas

Uso del agua	Descarga doble m³/vivienda *mes	Alta eficiencia m³/vivienda *mes	Fuente o consideración para cálculo de demanda (L/vivienda*mes)
Cocina	1,2	1,2	
Lavamanos	1,3	1,3	
Ducha	5,4	5,4	$\frac{45L}{\text{persona} * \text{día}} * \frac{4 \text{ persona}}{\text{vivienda}} * \frac{30 \text{ día}}{\text{mes}}$
Lavado de ropa + aseo del hogar	2,5	2,5	<p>Lavado de ropa:</p> $\frac{3 \text{ ciclos}}{\text{semana}} * \frac{150 \text{ L}}{\text{ciclo}} * \frac{4 \text{ semana}}{\text{mes}}$ <p>Aseo del hogar:</p> $\frac{48 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{15 \text{ día}}{\text{mes}}$
Sanitario	2,7	1,38	<p>Alta eficiencia</p> $\frac{2.3 \text{ L}}{\text{descarga}} * \frac{5 \text{ descarga}}{\text{persona} * \text{día}} * \frac{4 \text{ persona}}{\text{vivienda}} * \frac{30 \text{ día}}{\text{mes}}$ <p>Doble descarga (6L/descarga heces ; 4L/descarga orina)</p> $\left( \frac{6 \text{ L}}{\text{descarga}} * \frac{1 \text{ descarga}}{\text{persona} * \text{día}} + \frac{4 \text{ L}}{\text{descarga}} * \frac{4 \text{ descarga}}{\text{persona} * \text{día}} \right) * \frac{4 \text{ persona}}{\text{vivienda}} * \frac{30 \text{ día}}{\text{mes}}$
Riego de jardines y otros en vivienda unifamiliar	2,0	2,0	
Riego de jardines y aseo zonas comunes en viviendas multifamiliares	0,6	0,6	$\frac{9000L}{\text{mes} * \text{Edificio}} * \frac{1 \text{Edificio}}{15 \text{ vivienda}}$

Caja 1. Características de proyección urbana adoptadas en la zona de expansión

- Área total de desarrollo 1.358 ha con densidad bruta de 302 habitantes/ha para un total de 410.380 habitantes. Datos adoptados con objeto de comparación del estudio de prefactibilidad de servicios públicos de la zona. (EMCALI and Hidroccidente 2006)
- Cuatro personas por vivienda acorde a la tendencia de la ciudad para estrato 3 a 6. (DAPM 2008), lo cual genera un total de 102.595 viviendas.
- Del total de viviendas, 15% son casas unifamiliares y 85% apartamentos en multifamiliares acorde a análisis de oferta inmobiliaria en el sur de Cali, comuna 17 y 22 con características de crecimiento similar a la zona de estudio y contiguas a la misma.
- Del total de casas y apartamentos un 30% son proyectados con sistemas convencionales de agua y un 70% con sistemas novedosos. Se adoptó esta relación considerando los siguientes factores:
  - i) El cumplimiento de la ley de uso eficiente del agua que aborda la obligatoriedad de aparatos de bajo consumo, uso de aguas lluvias y de aguas grises en los nuevos proyectos de vivienda (Congreso de Colombia 1997).
  - ii) Los resultados de consulta social que indican una aceptación superior al 98% de las nuevas fuentes de agua (ANEXO 1)
  - iii) A la fecha ya se promueven algunos proyectos de vivienda en el área, aunado a que EMCALI realizó los estudios definitivos de las redes de acueducto y alcantarillado para un 27% de la zona con el manejo convencional (EMCALI and Consorcio Ingesam-Hidroccidente 2009)

Tabla 20 Caracterización parámetros técnicos de alternativas de minimización y prevención en la zona de expansión de Cali.

Alternativa	Demanda de agua potable	Demanda aguas grises	Exceso de agua gris	Aguas residuales neto	Producción de aguas lluvias
	L/s				
a	666	0	0	513	33
b	569	83	5	360	33
c	558	83	5	360	23
d	644	0	0	513	11
e	633	0	0	513	14
f	630	0	0	485	47
g	569	47	10	336	33
h	558	47	10	336	23
i	607	0	0	485	29
j	597	0	0	485	14

## 8.2.4 Análisis de estrategias

### 8.2.4.1 Demanda neta de agua potable

Cada una de las estrategias, acorde a la integración de los aparatos y las fuentes de agua, presenta diferentes demandas de agua potable tal como se presenta en la Figura 37.

En términos generales las estrategias presentadas se mueven en un rango de técnicas domésticas sencillas como la implementación de aparatos de bajo consumo hasta técnicas un poco más complejas como la incorporación de las aguas grises y aguas lluvias. Considerando que sólo se necesita agua potable de alta calidad para aproximadamente 10% del consumo particular de la vivienda, las opciones presentadas reducen los consumos de agua entre un 50% a 80% en relación al consumo convencional.

Para la proyección de áreas urbanas, como la de estudio, los ahorros en demandas de agua permiten tener infraestructura de acueducto de menor diámetro y estaciones de bombeo de menor capacidad, implicando a su vez beneficios económicos para el prestador del servicio, puesto que se disminuyen costos de inversión inicial y reposición.

Las estrategias presentadas tienen diversos tipos de implicaciones, las cuales se describen a continuación:

- La incorporación de las aguas grises y las aguas lluvias contribuye notablemente en la reducción de la demanda
- Las estrategias h y c, donde se hace uso tanto de aguas lluvias como de aguas grises son las que presentan las menores demandas.

- Las estrategias g y b, hacen uso sólo de las aguas grises, generando también disminución en la demanda pero en menor escala que las estrategias h y c.
- Las estrategias i y j, hacen uso de las aguas lluvias en las áreas comunes de las unidades residenciales, la diferencia entre estas opciones está asociada al uso de las aguas lluvias en lavado de ropa en vivienda unifamiliar. El uso de esta fuente en esta actividad doméstica implica un ahorro de 10 l/s (1.64%). En el contexto del planteamiento de la propuesta, no es tan significativo este ahorro puesto que la proporción de viviendas unifamiliares es considerablemente menor frente a vivienda en multifamiliar, denotando la importancia de la tipología de vivienda en la selección de una fuente o alternativa.
- Las estrategias que contemplan el uso de agua potable en todas las actividades (alternativa a y alternativa f) presentan una diferencia de 36 L/s, indicando la relevancia de utilizar aparatos de alta eficiencia cuando no se hace uso de fuentes alternas, en pro de disminuir la demanda.
- En relación a la eficiencia de los aparatos utilizados se encuentra que al utilizar fuentes como aguas lluvias y aguas grises, no se hace relevante el uso de equipos con menor demanda, puesto que las implicaciones en demanda son similares.
- La posibilidad de reducir las demandas en las viviendas, permite percibir directamente beneficios económicos en los usuarios, ya que este es el servicio que se factura por la entidad encargada, puesto que tiene la posibilidad de realizar medición. Estos ahorros vía tarifa, que se ven representados en economía tanto de acueducto como de alcantarillado, permiten a los usuarios recuperar las inversiones realizadas en infraestructura adicional, de incorporar fuentes alternas o aparatos de alta eficiencia.

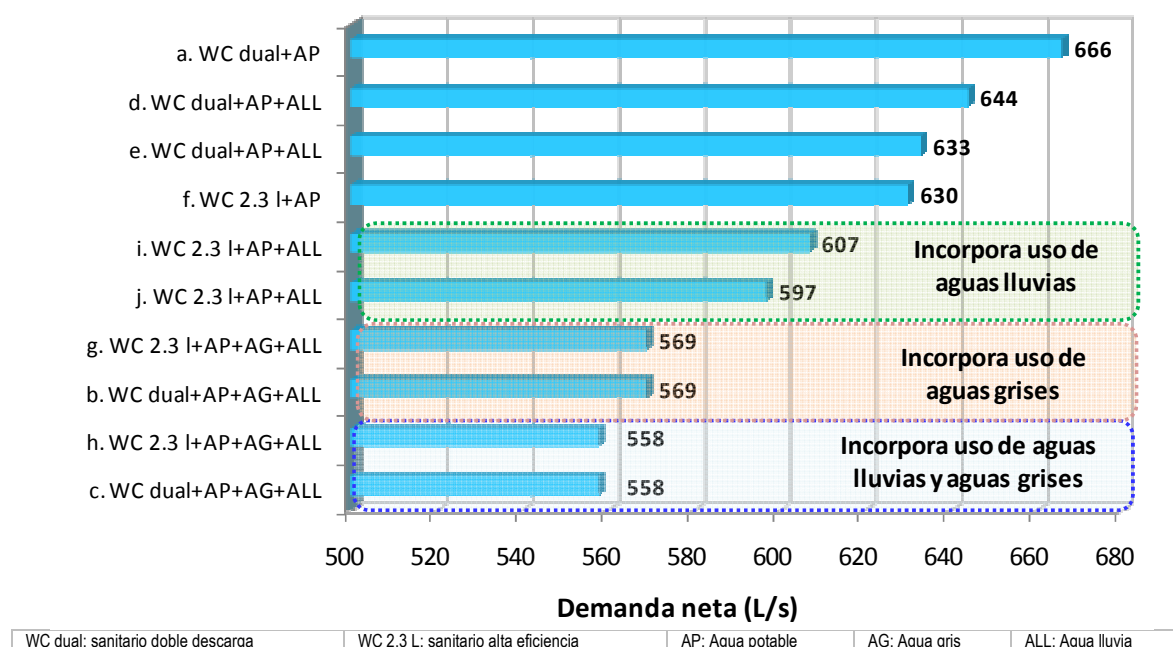
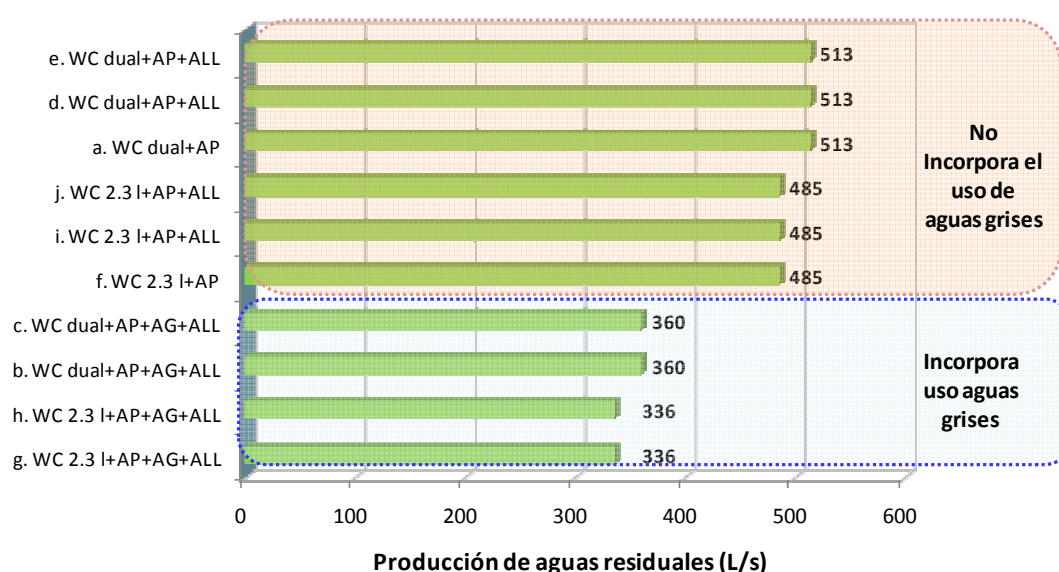


Figura 37 Demanda de agua potable de estrategias con minimización y prevención en la zona de expansión

### 8.2.4.2 Producción de aguas residuales

En relación a la producción de aguas residuales, la Figura 38 presenta los caudales que genera el área de estudio en función de las estrategias analizadas. Se encuentra:

- El uso de aguas grises contribuye notablemente en la disminución de la producción de aguas residuales, ya que un mismo volumen de agua se utiliza en más de una actividad doméstica.
- Las estrategias b, c, g y h, en las cuales se utilizan las aguas grises para la descarga de sanitarios, son las combinaciones que generan los menores caudales de aguas residuales, mostrando que este uso es relevante en la disminución de producción de contaminación.
- La incorporación de las aguas lluvias al sistema, no es una fuente influyente en disminución de caudales de aguas residuales, ya que estos se generan independiente de la fuente de abasto que se utilice (agua potable o agua lluvia).
- Al no utilizar aguas grises como fuente de abasto en los usos posibles, y hacer uso completamente de agua potable (alternativa a y alternativa f), es importante el uso de los equipos de mayor eficiencia disminuyendo la producción de aguas residuales en 28 L/s (5.45 %)



WC dual: sanitario doble descarga	WC 2.3 L: sanitario alta eficiencia	AP: Agua potable	AG: Agua gris	ALL: Agua lluvia
-----------------------------------	-------------------------------------	------------------	---------------	------------------

Figura 38 Producción de aguas residuales de estrategias con minimización y prevención en la zona de expansión

### 8.2.4.3 Producción de aguas residuales-Demanda de aguas lluvias

Cada alternativa presenta características particulares tanto en demanda de agua potable como en producción de aguas residuales. La Figura 39 presenta en orden descendente la demanda de agua potable, sin embargo no necesariamente esta representa la menor producción de agua residual.

Como se mencion3 en el aparte de la demanda, la incorporaci3n de aguas grises y aguas lluvias disminuyen el requerimiento de agua potable, sin embargo se nota que la menor producci3n de agua residual est3 m3s asociada con el uso de las aguas grises. Tambi3n se nota la influencia de incorporar equipos de mayor eficiencia como los de 2.3 L, en menor producci3n de aguas residuales.

En relaci3n a las estrategias a y f, que consideran el uso exclusivo de agua potable, se encuentra que utilizar los aparatos de mayor eficiencia influye directamente en menor requerimiento de agua potable como menor producci3n de agua residual. En este sentido, cuando existe limitaci3n de incorporaci3n de fuentes alternas, es importante en gesti3n del agua el uso de tecnolog3as de mayor eficiencia como una alternativa viable de minimizaci3n y prevenci3n.

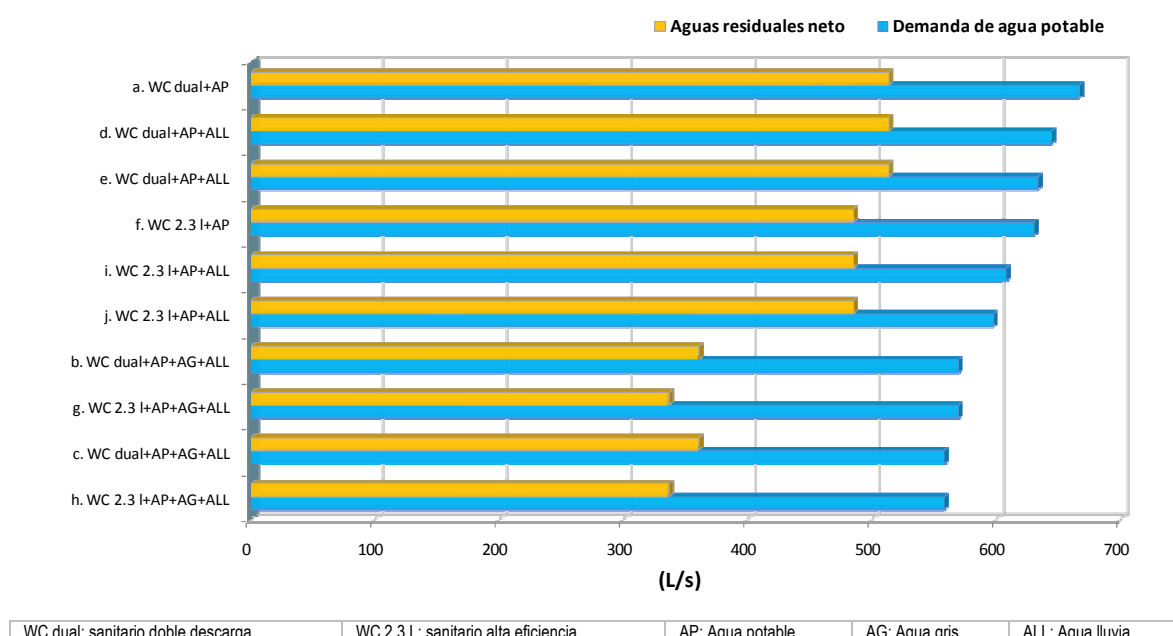


Figura 39 Demanda de agua potable y producci3n de aguas residuales de estrategias con minimizaci3n y prevenci3n en la zona de expansi3n

#### 8.2.4.4 Generaci3n de excesos de aguas lluvias

El uso de las aguas lluvias en las actividades dom3sticas como lavado de ropa, riego de jardines y aseo tanto del hogar como de zonas comunes, adem3s de contribuir en gesti3n de la demanda, apoya notablemente en la disminuci3n de los vol3menes de agua lluvia a recolectar y transportar tal como se presenta en la Figura 40.

Las estrategias j y e, hacen uso de esta fuente en riego y aseo en unidades residenciales adem3s del lavado de ropa haciendo un m3ximo aprovechamiento y disminuyendo hasta en un 70% el caudal de aguas lluvias a disponer.

Incorporar adem1s el uso de las aguas lluvias en lavander1a en las viviendas disminuye en dos litros por segundos, sin embargo este uso en este caso no es influyente ya que la proporci3n de viviendas frente a la de edificios es baja.

Al comparar entre los usos que se le da en las unidades residenciales, a medida de que tiene mayor aprovechamiento se disminuyen los excesos a disponer.

El aprovechamiento de las aguas lluvias genera menor requerimiento en infraestructura pluvial a nivel de redes externas. En relaci3n a las redes internas en las unidades residenciales y en las viviendas, la configuraci3n cambia ya que el sistema se centraliza hacia la recolecci3n para poder realizar su uso.

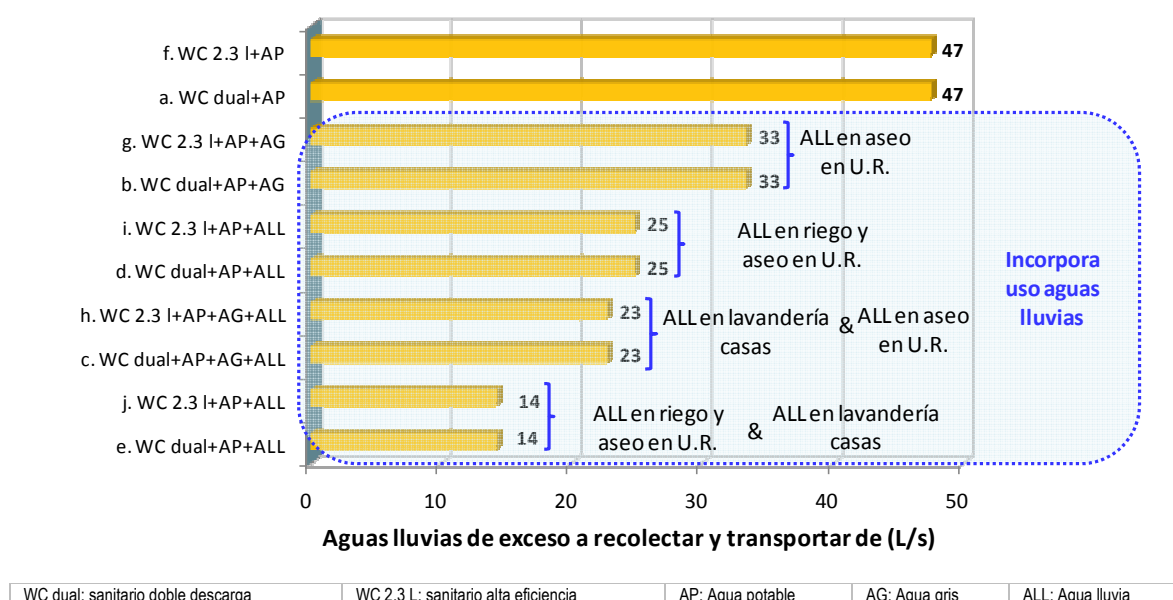


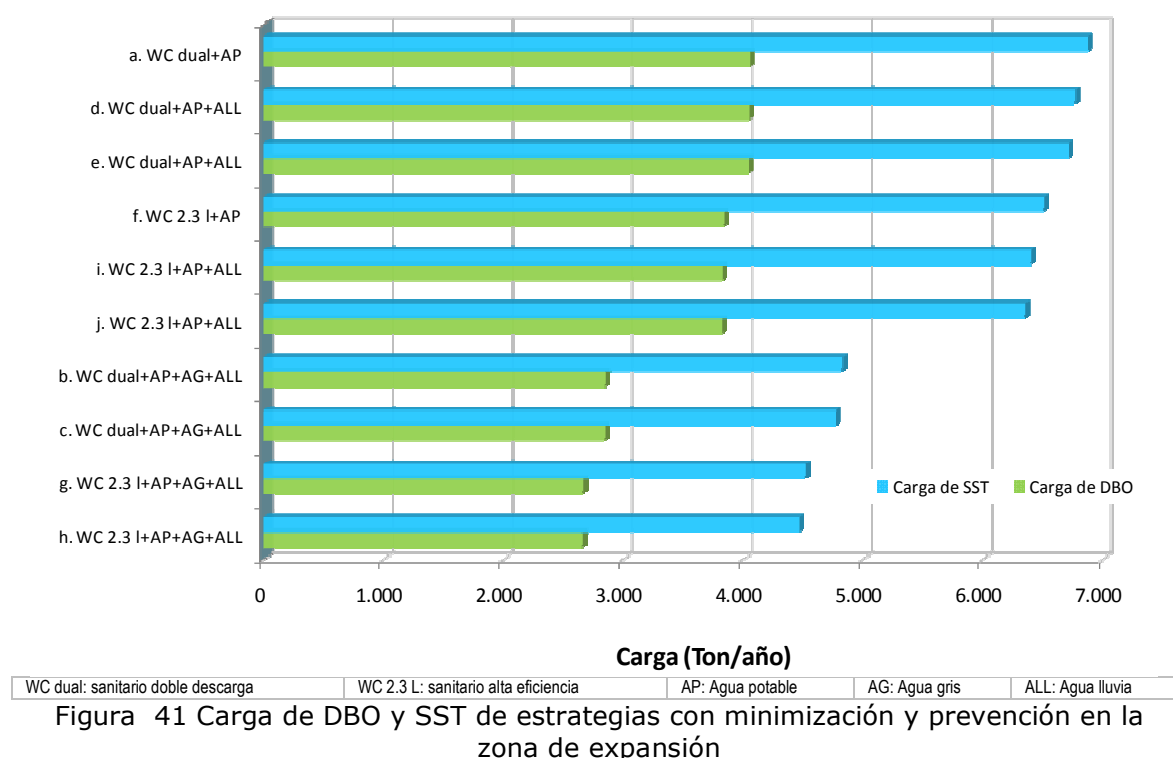
Figura 40 Excesos de aguas lluvias de estrategias con minimizaci3n y prevenci3n en la zona de expansi3n

#### 8.2.4.5 Producci3n de carga de DBO y SST

La Figura 41 presenta las cargas de DBO y SST de cada una de las estrategias en un a1o. El c1lculo de estas se realiz3 teniendo en cuenta los periodos estacionales secos y h1medos de la zona de estudio y se incluyeron las cargas aportadas por las aguas lluvias. En relaci3n a las aguas residuales corresponden a las cargas netas totales producidas por la zona de estudio, las cuales posteriormente deber1n ser sometidas a tratamiento.

La alternativa a, que es la m1s conservadora, puesto que incorpora un equipo medio en t1rmino de eficiencia y no hace uso de fuentes alternas de agua, presenta la m1s alta carga DBO y SST. La opci3n f que maneja el mismo concepto en relaci3n a las fuentes pero con equipo de mayor eficiencia, contribuye en la disminuci3n de la carga contaminante, reiterando que en las situaciones donde se limite el uso de las fuentes alternas, una buena estrategia para el control de la contaminaci3n es el uso de equipos de alta eficiencia.

En términos de carga de DBO, las opciones que consideran el uso de las aguas grises disminuyen su producción, puesto que se reducen las aguas residuales a disponer asociado a la posibilidad de doble uso. En términos de SST, el uso de las aguas lluvias contribuyen en la disminución de sólidos, ya que estas aguas, presentan una concentración considerable de elementos suspendidos y disueltos del arrastre.



Un aspecto que no se tuvo en cuenta en los cálculos realizados de carga DBO y SST está asociado con la mayor concentración que posiblemente tiene el agua residual de una vivienda cuando se hace el uso de fuentes alternas. En este análisis, el efecto en la carga estuvo medido a través de los volúmenes más no de los cambios en calidad de agua, puesto que se usó la caracterización de aguas residuales típicas de sectores urbanos de la ciudad, ya que no se tienen experiencias en uso de aguas grises. Identificar estos cambios puede generar beneficios en términos técnicos de sistemas de tratamiento, ya que aguas más concentradas pueden generar beneficios en eficiencias de remoción.

En términos generales, en control de la contaminación la incorporación de las diferentes estrategias de minimización y prevención son elementos que contribuyen en la disminución de las distintas sustancias contaminantes a los cuerpos receptores. La posibilidad de incluir el mayor número de fuentes alternas contribuye sustancialmente en la disminución de cargas tanto de SST como de DBO.

## 8.2.5 Selección de estrategias de minimización y prevención

### 8.2.5.1 Definición y cálculo de criterios e indicadores de selección

La importancia de hacer una adecuada selección de tecnología está siendo cada vez más reconocida por las instituciones del sector de agua y saneamiento, asociado en particular al limitado impacto de muchas de las inversiones (Galvis and Vargas 2004).

Hasta el momento, la selección de alternativas está basada principalmente en datos económicos, donde finalmente se escoge la que requiere menor inversión inicial y costos de operación, desarrollando modelos de optimización cuyo objetivo principal es minimizar los costos dejando de lado lo inherente a la incertidumbre y a la complejidad de una selección óptima de las alternativas. El sistema ideal para el control de la contaminación está asociado con la mínima carga contaminante, costos mínimos de manejo y máximos beneficios socioculturales. (Zeng et al. 2007).

Considerando el marco del concepto de sostenibilidad, en los procesos de selección es clave la adopción de múltiples criterios e indicadores apropiados. Un criterio puede definirse como una medida que contrasta opciones que se ejecutan y se evalúa a lo largo del tiempo y hasta cierto punto, desde que se inician los objetivos hasta que estos son alcanzados. Los indicadores constituyen una medida o medidas del nivel con el que el criterio es satisfecho (Makropoulos et al., 2006 citado por (Makropoulos et al. 2008b).

Diferentes autores, proyectos de selección, de investigación tanto de agua potable como de saneamiento, han estudiado la relevancia de los criterios e indicadores. En particular para esta investigación se retomarán los estudios asociados a procesos de selección que tienen relación con el control de la contaminación los cuales se listan en la Tabla 21.

Tabla 21 Criterios e indicadores de selección de alternativas de control de contaminación

Criterio	Indicador	Autor
<b>ECONÓMICO</b>	Costos de inversión inicial	(Bernal et al. 2003; Makropoulos et al. 2008b; Vargas 2007; Zein 2006; Zeng et al. 2007) Tiwarei et al. 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Abrishamchi et al. 2005 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Tzionas et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Yin et al. 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Srdjevic et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Mimi and Sawalhi 2003 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Kamib 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Raju and Kumar 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Eder et al. 1997 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Cai et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Joubert et al. 2003 citado por (Hajkowicz and Collins 2007)
	Costos de operación y mantenimiento (O & M)	(Bernal et al. 2003; Vargas 2007; Zeng et al. 2007) Tiwarei et al. 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Abrishamchi et al. 2005 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Tzionas et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Yin et al. 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Srdjevic et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Mimi and Sawalhi 2003 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Kamib 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007)

Criterio	Indicador	Autor
		Raju and Kumar 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Eder et al. 1997 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Cai et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Joubert et al. 2003 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) (Bernal et al. 2003; Makropoulos et al. 2008b; Zein 2006)
	Disponibilidad a pagar	(Exall et al., 2007)
	Factibilidad de financiación	(Exall et al., 2007)
	Factibilidad del mercado	(Exall et al., 2007)
	Utilidad económica	(Makropoulos et al. 2008b; Vargas 2007; Zeng et al. 2007)
AMBIENTAL	Consumo energético	(Makropoulos et al. 2008b; Zein 2006; Zeng et al. 2007) Tiwarei et al. 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Karnib 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Eder et al. 1997 citado por (Hajkowicz and Collins 2007)
	Eficiencia de remoción de nutrientes	(Zeng et al. 2007)
	Riesgos ambientales	(Zeng et al. 2007)
	Uso del agua	(Makropoulos et al. 2008b) (Zein 2006) Tiwarei et al. 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Tzionas et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Srdjevic et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Mimi and Sawalhi 2003 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Karnib 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007)
		Eder et al. 1997 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Joubert et al. 2003 citado por (Hajkowicz and Collins 2007)
		(Makropoulos et al. 2008b)
		(Makropoulos et al. 2008b; Zein 2006)
		(Makropoulos et al. 2008b; Vargas 2007)
		(Vargas 2007)
	Contaminación del suelo	(Vargas 2007)
	Contaminación del aire	(Vargas 2007)
	Contaminación del agua	(Vargas 2007)
	Condiciones locales	(Bernal et al. 2003; Vargas 2007)
	Clima	(Bernal et al. 2003; Vargas 2007)
	Hidrología	(Bernal et al. 2003; Vargas 2007)
	Protección o disminución de la biodiversidad	Tzionas et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Yin et al. 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Karnib 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Eder et al. 1997 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Cai et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Joubert et al. 2003 citado por (Hajkowicz and Collins 2007)
		(Den Boer et al. 2007)
		(Den Boer et al. 2007)
		(Den Boer et al. 2007)
		(Den Boer et al. 2007)
		(Den Boer et al. 2007)
	Remoción de DBO	(Zein 2006)
	Remoción de sólidos	(Zein 2006)
	Remoción de coliformes	(Zein 2006)
	Remoción de metales	(Zein 2006)
TÉCNICO-ADMINISTRATIVO	Nivel de complejidad	(Makropoulos et al. 2008b; Zeng et al. 2007) Tiwarei et al. 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Abrishamchi et al. 2005 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Tzionas et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Yin et al. 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Srdjevic et al. 2004 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Mimi and Sawalhi 2003 citado por (Hajkowicz and Collins 2007)
		(Zeng et al. 2007)
		(Zeng et al. 2007)
		(Zeng et al. 2007)
		(Makropoulos et al. 2008b)
		(Makropoulos et al. 2008b)
	Flexibilidad	(Zeng et al. 2007)
SOCIAL	Cumplimiento de la normatividad	Abrishamchi et al. 2005 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Yin et al. 1999 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Mimi and Sawalhi 2003 citado por (Hajkowicz and Collins 2007)

Criterio	Indicador	Autor
		Eder et al. 1997 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) Joubert et al. 2003 citado por (Hajkowicz and Collins 2007)
	Conocimiento y aceptaci3n p3blica	(Exall et al. 2007; Makropoulos et al. 2008b; Vargas 2007; Zeng et al. 2007) (Den Boer et al. 2007; Zein 2006)
	Riesgo a la salud humana	(Exall et al. 2007; Makropoulos et al. 2008b; Zein 2006) Abrishamchi et al. 2005 citado por (Hajkowicz and Collins 2007)
	Inclusi3n social	Joubert et al. 2003 citado por (Hajkowicz and Collins 2007) (Makropoulos et al. 2008b; Zein 2006)

En el contexto local muchos de los indicadores presentados en cada criterio no son factibles de calcular o presentar asociado a la carencia de informaci3n en el medio. La Tabla 22 presenta los indicadores viables de identificar y/o levantar acorde a la informaci3n disponible.

Tabla 22 Criterios e indicadores utilizados en el proceso de selecci3n

Criterios	ECON3MICO	AMBIENTAL	T3CNICO	SOCIAL
Indicadores	Costos de inversi3n inicial en infraestructura externa	% Disminuci3n de la demanda de agua potable	Nivel de complejidad	Apoyo institucional
	Costos de inversi3n inicial, operaci3n y mantenimiento en redes internas	% Remoci3n de DBO		Aceptaci3n social
		% Remoci3n de SST		

Para el c3lculo de los indicadores econ3micos y ambientales se consider3 la poblaci3n final del proyecto.

### Criterio econ3mico

#### ❖ *Costos de inversi3n inicial en infraestructura externa*

Los costos de inversi3n de infraestructura externa est3n asociados a los 3tems principales de:

- Redes principales de acueducto y estaci3n de bombeo
- Contribuci3n de escurrimiento por aguas lluvias de cubiertas al sistema pluvial
- Sistema de alcantarillado
- Planta de tratamiento de aguas residuales

Este indicador est3 relacionado con los caudales de agua potable requerida y agua residual producida. Su c3lculo se realiz3 asociado a los caudales como una funci3n lineal de los mismos teniendo en cuenta que las diferencias entre los flujos de las estrategias no son significativas (Rango caudal de agua potable 558-666 L/s y Rango de agua residual 336-513). Los indicadores identificados en cada 3tem se presentan en Tabla 23.

Tabla 23 Indicadores de costos de redes externas de acueducto, alcantarillado y tratamiento en la zona de expansión de Cali

Estrategia	Demanda de agua potable (L/s)	Indicador asociado a costos de acueducto* <b>IA</b>	Producción de aguas residuales (L/s)	Indicador asociado a costos alcantarillado y PTAR** <b>IA&amp;P</b>	Contribución al escurrimiento por aguas lluvias (L/s)	Indicador asociado a costos por escurrimiento de aguas lluvias*** <b>IALL</b>	Indicador de costo de redes externas <b>IA+ IA&amp;P+ IALL</b>
a	853	0,9	513	0,5	47	0,5	1,84
b	728	0,7	360	0,4	33	0,3	1,42
c	715	0,7	360	0,4	23	0,2	1,30
d	824	0,8	513	0,5	25	0,2	1,59
e	810	0,8	513	0,5	14	0,1	1,47
f	806	0,8	485	0,5	47	0,5	1,77
g	728	0,7	336	0,3	33	0,3	1,40
h	715	0,7	336	0,3	23	0,2	1,28
i	777	0,8	485	0,5	25	0,2	1,51
j	764	0,8	485	0,5	14	0,1	1,39

\* Demanda de agua potable dividida en 1000

\*\* Producción de aguas residuales dividida en 1000

\*\*\* Escurrimiento de aguas lluvias por cubiertas dividida en 100

#### ❖ Costos de inversión inicial, operación y mantenimiento en redes internas

La implementación de las estrategias con minimización y prevención frente a los usos del agua convencionales, conlleva a un incremento en las instalaciones domiciliarias. Este indicador presenta los costos adicionales totales (incluyen casas y apartamentos) de utilizar aparatos de bajo consumo en la evacuación de excretas, el uso de aguas lluvias y grises según corresponda, para cada estrategia.

En relación a los equipos para la evacuación de excretas, en la situación convencional se instalaría un sanitario de bajo consumo de 6 L el cual tiene un costo de \$160.000. El costo unitario del sanitario de 2.3 L es de \$ 400.000 generando un sobrecosto de \$240.000 por equipo, mientras que el sanitario de doble descarga presenta un costo de \$215.000.

En cuanto a la incorporación de fuentes alternas, el ANEXO 3A, ANEXO 4 y ANEXO 5 presentan los costos del uso de aguas lluvias y aguas grises respectivamente, tanto en vivienda unifamiliar como multifamiliar, el resumen de estos costos se muestran en la Tabla 24. La Tabla 25, presenta los costos totales considerando las 11.049 casas y los 60.768 apartamentos proyectado.

Tabla 24 Costo de uso de fuentes alternas en viviendas de la zona de expansión de Cali

Sistema	Costo unitario (\$)
Aguas grises en apartamentos	402.500
Aguas grises en casas	987.500
Aguas lluvias en apartamentos	216.000
Aguas lluvias en casa	887.500

Tabla 25 Indicadores de costos de redes internas en viviendas de la zona de expansión de Cali

Estrategia	Aparato evacuación de excretas*	Aguas lluvias		Aguas grises		Total
		Casa	Apartamento	Casa	Apartamento	
	Millones de pesos					
a	7.900	0	0	0	0	7.900
b	7.900	0	13.126	10.911	24.459	56.395
c	7.900	9.806	13.126	10.911	24.459	66.201
d	7.900	9.806	13.126	0	0	30.831
e	7.900	9.806	13.126	0	0	30.831
f	34.472	0	0	0	0	34.472
g	34.472	0	13.126	10.911	24.459	82.967
h	34.472	9.806	13.126	10.911	24.459	92.773
i	34.472	9.806	13.126	0	0	57.403
j	34.472	9.806	13.126	0	0	57.403

\* Considera dos unidades sanitarias por vivienda

### Criterio ambiental

#### ❖ *Disminución de demanda de agua potable*

El porcentaje de disminución de la demanda de agua potable está calculado tomado como base la demanda propuesta para la zona de un abastecimiento convencional utilizando un caudal de 1067 L/s (EMCALI and Hidroccidente 2006), en relación con las demandas calculadas en cada estrategia. Los datos se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26 Indicador de disminución de demanda de agua potable para cada estrategia en la zona de expansión de Cali corredor Cali-Jamundí

Estrategia	Demanda de agua potable (residencial y comercial)* (L/s)	Disminución de demanda de agua potable
a	853,0	20%
b	728,3	32%
c	714,7	33%
d	824,1	23%
e	810,5	24%
f	806,2	24%
g	728,3	32%
h	714,7	33%
i	777,3	27%
j	763,6	28%

\* Incluye demanda comercial equivalente a un 13% de la demanda residencial y un factor de 15% de pérdidas

#### ❖ Remoción de DBO y SST

En las remociones de DBO y SST se consideraron los aportes por aguas residuales domésticas y por las aguas lluvias de exceso recolectadas de las cubiertas, considerando un año como periodo de análisis, teniendo en cuenta siete meses húmedos y cinco secos.

La disminución de la carga de los parámetros mencionados está calculado tomado como base la producción propuesto para la zona con abastecimiento convencional utilizando un caudal de 854 L/s (EMCALI and Hidroccidente 2006), en relación con la producción de aguas residuales (domésticas y lluvias) calculadas en cada estrategia; utilizando como concentración de los parámetros de estudio los presentados en la Tabla 27. Los indicadores de remoción de DBO y SST se presentan en la Tabla 28 y Tabla 29 respectivamente.

Tabla 27 Concentración de DBO y SST de aguas residuales municipales consideradas para la zona de expansión de Cali

Indicador de contaminación Tipo de agua	Carga de DBO (mg/l)	Carga de SST (mg/l)
Agua residual doméstica*	252,84	416,45
Aguas lluvias	24	261

\* Caracterización afluente PTAR Sur (Área con alcantarillado separado con características similares al área de estudio)

\*\* Wanielista, 1993 citado por Navarro, 2007

Tabla 28 Indicador de remoción de aporte de carga de DBO para cada estrategia en la zona de expansión de Cali corredor Cali-Jamundí

Estrategia	Carga de DBO invierno (Kg/día)	Carga de DBO verano (Kg/día)	Carga de DBO total (Ton/año)	Porcentaje disminución de carga
a	11.308	11209	4056	40
b	7.933	7864	2846	58
c	7.911	7864	2841	58
d	11.261	11209	4046	40
e	11.239	11209	4042	40
f	10.688	10590	3833	43
g	7.417	7348	2660	61
h	7.395	7348	2655	61
i	10.641	10590	3823	43
j	10.619	10590	3819	43

Tabla 29 Indicador de remoción de aporte de carga de SST para cada estrategia en la zona de expansión de Cali corredor Cali-Jamundí

Estrategia	Carga de SST invierno (Kg/día)	Carga de SST verano (Kg/día)	Carga de SST (Ton/año)	Porcentaje disminución de carga
a	19.534	18463	6872	39
b	13.707	12953	4821	57
c	13.467	12953	4771	58
d	19.024	18463	6765	40
e	18.784	18463	6714	40
f	18.513	17442	6504	42
g	12.857	12103	4515	60
h	12.616	12103	4465	60
i	18.004	17442	6397	43
j	17.764	17442	6347	44

#### Criterio técnico

##### ❖ Nivel de complejidad

Se identificó un nivel de complejidad para cada combinación de usos y fuentes tanto en casas unifamiliares como en multifamiliares, los cuales fueron asignadas cualitativamente a través de una escala de valor entre 0 y 1. El nivel de complejidad fue asignado a través de consulta por profesionales en manejo del agua, estos se presentan en Tabla 30. El nivel de complejidad de las estrategias que contemplan los usos tanto de viviendas unifamiliares como multifamiliares, es la resultante de la suma del nivel de complejidad de la combinación de usos y fuentes que involucre la estrategia en viviendas unifamiliares y el de multifamiliares, estos se presentan en la Tabla 31.

Tabla 30 Nivel de complejidad según usos y fuentes de agua utilizadas

Opciones de usos y fuentes en viviendas unifamiliares						
Cocina	Aseo personal	Evacuación de excretas	Lavado de ropa	Riego de jardines	Nivel de complejidad	
Potable		Potable	Potable	Potable	0,3	
		Gris	Potable	Gris	0,8	
		Gris	Potable+Lluvia	Gris	0,9	
		Potable	Potable	Lluvia	0,4	
		Potable	Potable+Lluvia	Lluvia	0,7	
Opciones de usos y fuentes en multifamiliares						
Cocina	Aseo personal	Evacuación de excretas	Lavado de ropa y aseo del hogar	Aseo de áreas comunes	Riego de áreas comunes	Nivel de complejidad
Potable		Potable	Potable	Potable		0,3
		Gris	Potable	Gris + Lluvia	Gris	0,8
		Potable	Potable	Lluvia	Lluvia	0,4

Tabla 31 Indicador de nivel de complejidad para cada estrategia en la zona de expansión de Cali corredor Cali-Jamundí

Alternativa	Nivel de complejidad
a	0,6
b	1,6
c	1,7
d	0,8
e	1,1
f	0,6
g	1,6
h	1,7
i	0,8
j	1,1

### Criterio social

#### ❖ *Apoyo institucional y aceptación social*

Los indicadores de tipo social están relacionados con el apoyo institucional y la aceptación social frente a los usos y las fuentes alternas de agua.

El apoyo institucional se identificó a través de encuestas a personal relacionado con manejo del agua y planificación urbana de la ciudad de Cali (ANEXO 3). La aceptación social se identificó a través de encuestas a posibles compradores de proyectos de vivienda en el sur de Cali (ANEXO 1). La Figura 42 presenta los resultados asociados con el uso de aguas lluvias y la Figura 43, los relacionados con las aguas grises.

La Figura 42, asociada con la incorporación de aguas lluvias en usos domésticos, muestra una alta aceptación para todos los usos de esta fuente. Es mayormente aceptada por la comunidad que por

el personal de las instituciones. Entre los usos el que presentó una menor aceptación es el de lavado de ropa, en particular a nivel institucional.

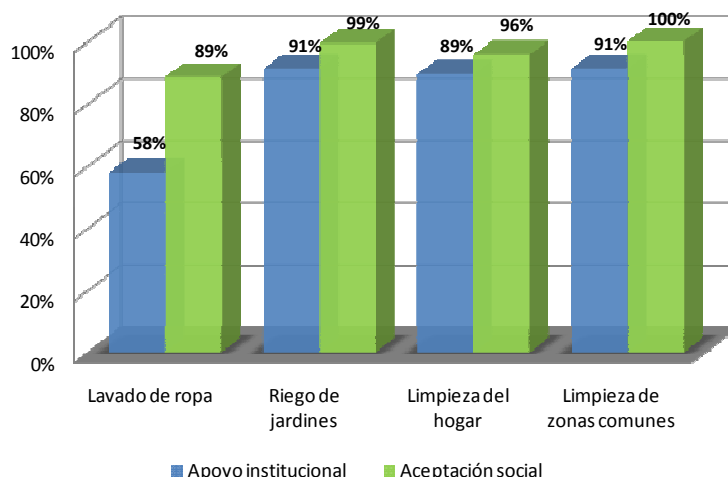


Figura 42 Apoyo institucional y aceptación social de uso de aguas lluvias en nuevos proyectos de vivienda en el sur Cali

La Figura 43, asociada con la incorporación de aguas grises en usos domésticos, muestra una alta aceptación para todos los usos de esta fuente. Es mayormente aceptada por la comunidad que por el personal de las instituciones. A nivel institucional presentó mayor aceptación la descarga de sanitarios.

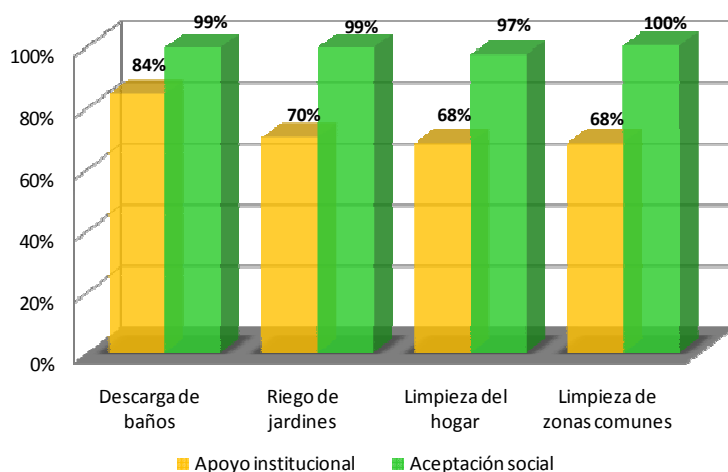


Figura 43 Apoyo institucional y aceptación social de uso de aguas grises en nuevos proyectos de vivienda en el sur de Cali

El cálculo de la aceptación social y el apoyo institucional de cada estrategia es el producto de la aceptación del aparato de bajo consumo, cada fuente y uso que contempla cada estrategia. Los resultados se presentan en la Tabla 32

Tabla 32 Indicador de apoyo institucional y aceptación social para cada estrategia en la zona de expansión de Cali corredor Cali-Jamundí

Estrategias	Aceptación social	Apoyo institucional
a	0,53	0,75
b	0,52	0,28
c	0,47	0,23
d	0,53	0,62
e	0,47	0,36
f	0,41	0,25
g	0,41	0,09
h	0,36	0,08
i	0,41	0,21
j	0,35	0,12

#### 8.2.5.2 Aplicación de GRA-AHP

##### Pesos de criterios e indicadores de selección

Un elemento importante al aplicar la técnica de AHP es la identificación de los pesos relativos de los indicadores que el centro decisor asigna, en este caso las instituciones relacionadas con planificación urbana y del agua en la ciudad. Para identificar estos pesos se realizaron encuestas utilizando la técnica de Saaty descrita en la metodología. La metodología y los resultados de la consulta a se presentan en el ANEXO 2. En síntesis, la matriz de comparación por pares resultante del análisis de frecuencia se presenta en la Tabla 33, los pesos obtenidos para cada criterio después de la normalización son los presentados gráficamente en la Figura 44.

Tabla 33 Matriz de comparación de criterios de selección

	Ambiental	Económico	Técnico	Social
Ambiental	1	3	1	1
Económico	1/3	1	1	1
Técnico	1	1	1	1
Social	1	1	1	1

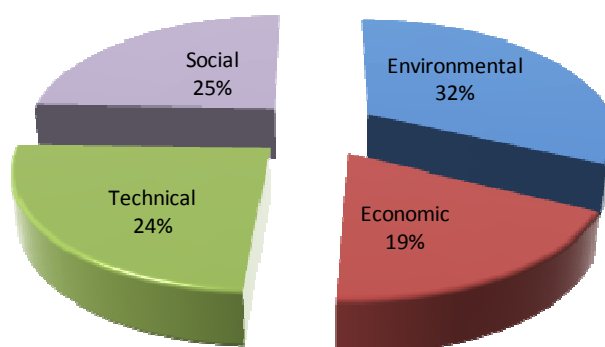


Figura 44 Asignaci3n de pesos de criterios de selecci3n identificados entre los tomadores de decisi3n en manejo de agua en Cali

Se resalta que la tendencia de los tomadores de decisi3n es darle la mayor relevancia al criterio ambiental, sin embargo se nota que hay una relaci3n uniformemente distribuida entre los criterios y que en t3rminos generales se le consideran igual de importantes entre s3. A pesar de la limitaci3n de recursos que se presenta en el contexto local el criterio de menor importancia fue el econ3mico, pues aspectos como los t3cnicos y sociales son de gran influencia en los procesos de selecci3n de tecnolog3a de manejo de agua.

#### Sistema jerarquizado de selecci3n de alternativa de minimizaci3n y prevenci3n

Para la jerarquizaci3n entre las diez alternativas de minimizaci3n y prevenci3n se utiliz3 el m3todo de AHP-GRA (Zeng et al. 2007). El modelo de decisi3n se presenta en la Figura 45.

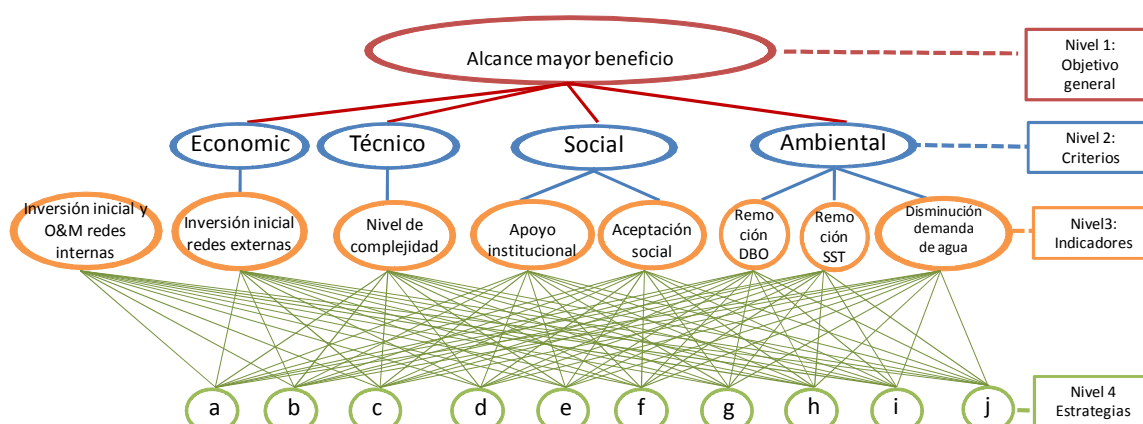


Figura 45 Modelo de decisi3n de jerarquizaci3n para la selecci3n de estrategia de minimizaci3n y prevenci3n

WC dual: sanitario doble descarga WC 2.3 L: sanitario alta eficiencia AP: Agua potable AG: Agua gris ALL: Agua lluvia

La Figura 46 muestra el modelo de decisi3n de jerarquizaci3n para la selecci3n de estrategia de minimizaci3n y prevenci3n. Los criterios considerados (Nivel 2) son el econ3mico, ambiental, social y t3cnico. Cada criterio cuenta con indicadores (Nivel 3) a mencionar, costos de inversi3n inicial en

redes externas e infraestructura interna en las viviendas, disminución de demanda de agua potable, porcentaje de disminución de DBO y SST, apoyo institucional, aceptación social y nivel de complejidad. El nivel 4 de alternativas lista las estrategias de minimización y prevención a ser comparadas y evaluadas. La Tabla 34 presenta los indicadores a evaluar en el proceso de jerarquización.

Tabla 34 Matriz de indicadores para la selección de estrategia de minimización y prevención en la zona de expansión de Cali: Corredor Cali-Jamundí

Criterio	Estrategia Indicador	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Económico	Costos inversión inicial infraestructura externa	1,8	1,4	1,3	1,6	1,5	1,8	1,4	1,3	1,5	1,4
	Costos inversión inicial y O&M infraestructura en vivienda	7.900	56.395	66.201	30.831	30.831	34.472	82.967	92.773	57.403	57.403
Ambiental	Disminución de la demanda	0,20	0,32	0,33	0,23	0,24	0,24	0,32	0,33	0,27	0,28
	Remoción carga DBO	0,40	0,58	0,58	0,40	0,40	0,43	0,61	0,61	0,43	0,43
	Remoción carga SST	0,39	0,57	0,58	0,40	0,40	0,42	0,60	0,60	0,43	0,44
Técnico	Nivel de complejidad	0,6	1,6	1,7	0,8	1,1	0,6	1,6	1,7	0,8	1,1
Social	Apoyo institucional	0,75	0,28	0,23	0,62	0,36	0,25	0,09	0,08	0,21	0,12
	Aceptación social	0,53	0,52	0,47	0,53	0,47	0,41	0,41	0,36	0,41	0,35

### Análisis relacional gris con jerarquización

Los datos normalizados se presentan en la Tabla 35. El primer y segundo coeficiente relacional gris se muestran en la Tabla 36 y Tabla 39 respectivamente.

Los pasos intermedios de ponderación y normalización de los coeficientes ponderados se presentan en la Tabla 37, Tabla 38 y Tabla 40.

Tabla 35 Indicadores normalizados de cada estrategia de minimización y prevención

Criterio	Estrategia Indicador	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Económico	Costos inversión inicial infraestructura externa	0,7	0,9	1,0	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	0,9
	Costos inversión inicial y O&M infraestructura en vivienda	1,0	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Ambiental	Disminución de la demanda	0,6	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	1,0	1,0	0,8	0,9
	Remoción carga DBO	0,7	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	1,0	1,0	0,7	0,7
	Remoción carga SST	0,6	0,9	1,0	0,7	0,7	0,7	1,0	1,0	0,7	0,7
Técnico	Nivel de complejidad	1,0	0,4	0,4	0,8	0,5	1,0	0,4	0,4	0,8	0,5
Social	Apoyo institucional	1,0	0,4	0,3	0,8	0,5	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2
	Aceptación social	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7

(AP) Agua Potable  
a. a. WC dual+AP  
e. WC dual+AP+ALL  
i. WC 2.3 I+AP+ALL

(AG) Agua gris  
b. WC dual+AP+AG+ALL  
f. WC 2.3 I+AP  
j. WC 2.3 I+AP+ALL

(ALL) Agua Lluvia  
c. WC dual+AP+AG+ALL  
g. WC 2.3 I+AP+AG+ALL

d. WC dual+AP+ALL  
h. WC 2.3 I+AP+AG+ALL

Tabla 36 Primer coeficiente relacional gris de estrategias de minimización y prevención

Criterio	Estrategia Indicador	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Económico	Costos inversión inicial infraestructura externa	0,64	0,80	0,96	0,80	0,78	0,61	0,83	1,00	0,71	0,85
	Costos inversión inicial y O&M infraestructura en vivienda	1,00	0,36	0,34	0,35	0,35	0,41	0,35	0,33	0,34	0,34
Ambiental	Disminución de la demanda	0,54	0,92	1,00	0,60	0,63	0,64	0,92	1,00	0,72	0,77
	Remoción carga DBO	0,57	0,91	0,91	0,57	0,57	0,61	1,00	1,00	0,62	0,62
	Remoción carga SST	0,56	0,90	0,91	0,58	0,58	0,61	0,98	1,00	0,62	0,62
Técnico	Nivel de complejidad	1,00	0,42	0,41	0,65	0,50	1,00	0,42	0,41	0,65	0,50
Social	Apoyo institucional	1,00	0,42	0,40	0,73	0,47	0,41	0,34	0,34	0,39	0,35
	Aceptación social	1,00	0,96	0,79	0,99	0,79	0,67	0,66	0,59	0,67	0,58

(AP) Agua Potable  
a. a. WC dual+AP  
e. WC dual+AP+ALL  
i. WC 2.3 I+AP+ALL

(AG) Agua gris  
b. WC dual+AP+AG+ALL  
f. WC 2.3 I+AP  
j. WC 2.3 I+AP+ALL

(ALL) Agua Lluvia  
c. WC dual+AP+AG+ALL  
g. WC 2.3 I+AP+AG+ALL

d. WC dual+AP+ALL  
h. WC 2.3 I+AP+AG+ALL

Tabla 37 Vector ponderado del primer coeficiente relacional gris de estrategias de minimización y prevención

Criterio	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Económico	0,82	0,58	0,65	0,58	0,57	0,51	0,59	0,67	0,53	0,60
Ambiental	0,56	0,91	0,94	0,58	0,59	0,62	0,97	1,00	0,65	0,67
Técnico	1,00	0,42	0,41	0,65	0,50	1,00	0,42	0,41	0,65	0,50
Social	1,00	0,69	0,59	0,86	0,63	0,54	0,50	0,46	0,53	0,46

Tabla 38 Normalización vector ponderado del primer coeficiente relacional gris de estrategias de minimización y prevención

Criterio	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Económico	0,62	0,87	0,79	0,88	0,90	1,00	0,86	0,76	0,97	0,85
Ambiental	0,56	0,91	0,94	0,58	0,59	0,62	0,97	1,00	0,65	0,67
Técnico	0,41	0,98	1,00	0,64	0,83	0,41	0,98	1,00	0,64	0,83
Social	1,00	0,69	0,59	0,86	0,63	0,54	0,50	0,46	0,53	0,46

(AP) Agua Potable  
a. a. WC dual+AP  
e. WC dual+AP+ALL  
i. WC 2.3 l+AP+ALL

(AG) Agua gris  
b. WC dual+AP+AG+ALL  
f. WC 2.3 l+AP  
j. WC 2.3 l+AP+ALL

(ALL) Agua Lluvia  
c. WC dual+AP+AG+ALL  
g. WC 2.3 l+AP+AG+ALL

d. WC dual+AP+ALL  
h. WC 2.3 l+AP+AG+ALL

Tabla 39 Segundo coeficiente relacional gris de estrategias de minimización y prevención

Criterio	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Económico	0,435	0,693	0,577	0,705	0,737	1,000	0,682	0,552	0,902	0,667
Ambiental	0,399	0,763	0,830	0,412	0,419	0,434	0,901	1,000	0,456	0,470
Técnico	0,333	0,936	1,000	0,449	0,627	0,333	0,936	1,000	0,449	0,627
Social	1,000	0,487	0,418	0,676	0,442	0,388	0,369	0,353	0,382	0,353

(DW) Drinking water  
a. WC dual+DW  
e. WC dual+DW+RH  
i. WC 2.3 l+DW+RH

(GW) Grey water  
b. WC dual+DW+GW  
f. WC 2.3 l+DW  
j. WC 2.3 l+DW+RH

(RH) Rain harvesting  
c. WC dual+DW+GW+RH  
g. WC 2.3 l+DW+GW  
h. WC 2.3 l+DW+GW+RH

d. WC dual+DW+RH

Tabla 40 Segundo coeficiente relacional gris ponderado de estrategias de minimización y prevención

Criterio	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Económico	0,08	0,13	0,11	0,13	0,14	0,19	0,13	0,10	0,17	0,12
Ambiental	0,13	0,25	0,27	0,13	0,14	0,14	0,29	0,32	0,15	0,15
Técnico	0,08	0,23	0,25	0,11	0,15	0,08	0,23	0,25	0,11	0,15
Social	0,25	0,12	0,10	0,17	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09

Σ	0,54	0,72	0,72	0,54	0,54	0,50	0,74	0,76	0,52	0,52
---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

(AP) Agua Potable  
a. a. WC dual+AP  
e. WC dual+AP+ALL  
i. WC 2.3 l+AP+ALL

(AG) Agua gris  
b. WC dual+AP+AG+ALL  
f. WC 2.3 l+AP  
j. WC 2.3 l+AP+ALL

(ALL) Agua Lluvia  
c. WC dual+AP+AG+ALL  
g. WC 2.3 l+AP+AG+ALL

d. WC dual+AP+ALL  
h. WC 2.3 l+AP+AG+ALL

Del proceso de selección con AHP-GRA, donde se combinan los diversos criterios e indicadores, se encuentra el orden de elegibilidad de las opciones propuestas el cual se presenta en la Tabla 41 y gráficamente en la Figura 46. La opción que se encuentra como la más viable es la estrategia h que incluye el WC de 2.3 L, uso de aguas grises para la evacuación de excretas y el riego de jardines y uso de aguas lluvias en lavandería y aseo de zonas comunes.

Tabla 41 The integrated grey relational grade for each optional scheme

Estrategia	Descripción	Coefficiente relacional gris	Jerarquía
H	WC 2.3 l+AP+AG+ALL	0,76	1
G	WC 2.3 l+AP+AG+ALL	0,74	2
B	WC dual+AP+AG+ALL	0,72	3
C	WC dual+AP+AG+ALL	0,72	4
D	WC dual+AP+ALL	0,54	5
A	WC dual+AP	0,54	6
E	WC dual+AP+ALL	0,54	7
I	WC 2.3 l+AP+ALL	0,52	8
J	WC 2.3 l+AP+ALL	0,52	9
F	WC 2.3 l+AP	0,50	10

WC dual: sanitario doble descarga    WC 2.3 L: sanitario alta eficiencia    AP: Agua potable    AG: Agua gris    ALL: Agua lluvia

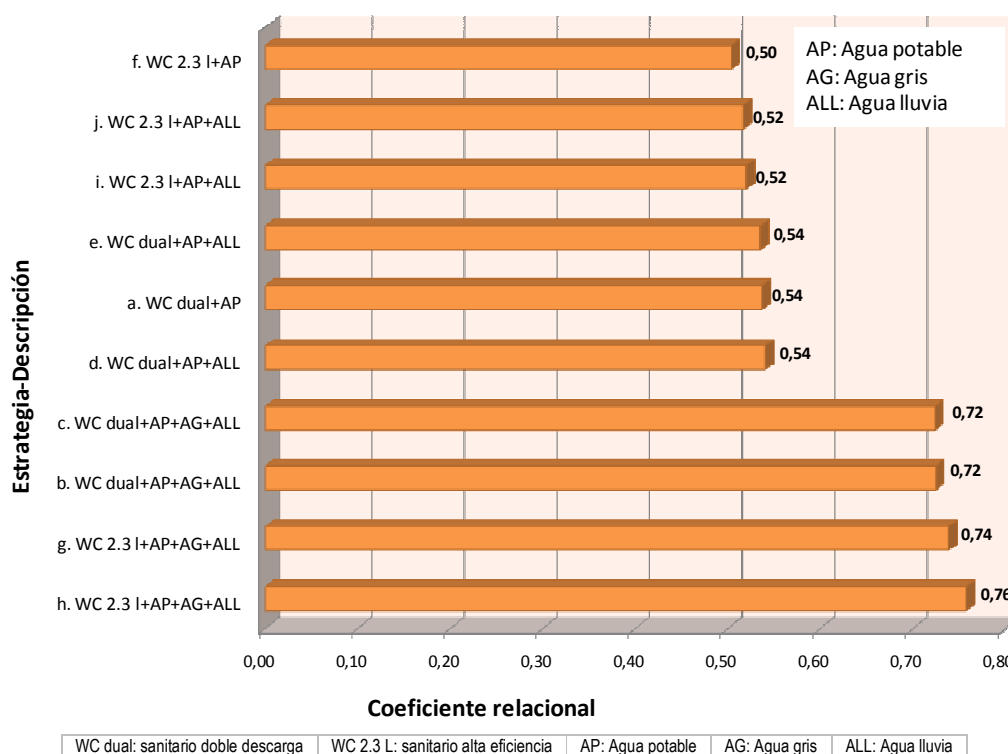


Figura 46 Coeficiente relacional para cada estrategia de minimización y prevención en la zona de expansión

En la Figura 46, se nota que no existe una diferencia significativa entre la estrategia con mayor puntaje (h) y estrategias como la g, b y c resaltadas en la línea punteada. Entre estas alternativas se encuentra un elemento común que es el uso de las aguas grises. El uso de esta fuente influye notablemente en la reducción de los indicadores ambientales el cual es un criterio que en el modelo de selección tiene un mayor peso, aunado a la alta aceptación social que esta fuente tiene. El uso de aguas lluvias, también es una alternativa que mejora las condiciones ambientales, encontrándose dentro de las alternativas de las estrategias h y c.

Las estrategias b y g contemplan solo una fuente adicional a la potable, lo cual hace esta opción viable a nivel de redes internas ya que el sistema se hace menos complejo en instalación y O&M. Estas dos alternativas se diferencian entre ellas por el equipo de descarga sanitario que se implementa.

Las cuatro opciones más factibles para el manejo del agua tienen un nivel de elegibilidad similar, mostrando que en los niveles de planificación urbana diseñadores y constructores tienen una gama, que acorde a las condiciones de financiación que se manejen o de oferta ambiental y de beneficios económicos que se le desee proporcionar a los usuarios se podrá elegir.

Un factor determinante en el proceso de selección es el número de viviendas que se acogen a estas nuevas formas de planificación del agua, influyendo directamente en los caudales a transportar y las cargas tanto de DBO como de SST aportadas que se llevarían a un sistema de tratamiento. La Figura 47 y la Figura 48 presentan el cambio en la carga total anual de DBO y SST respectivamente, del sector residencial por aguas residuales domésticas y las aguas lluvias colectadas en las cubiertas, en relación al porcentaje de viviendas que incorporan los equipos de bajo consumo y las fuentes alternas de agua.

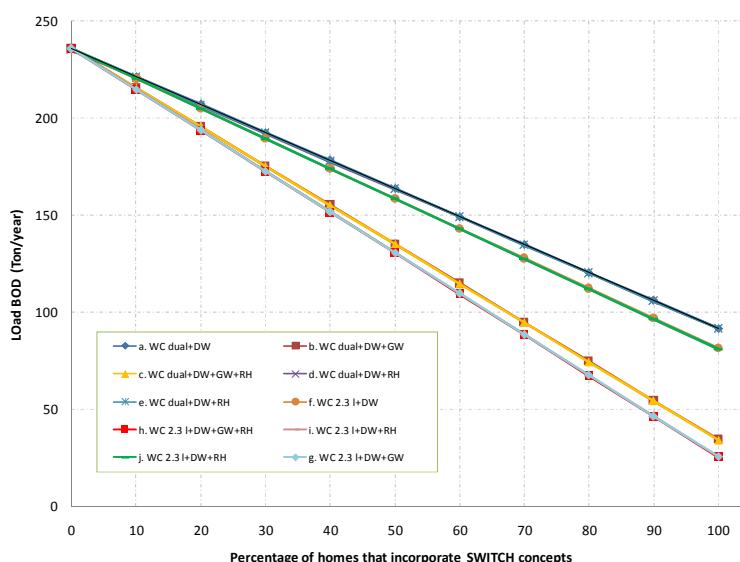


Figura 47 Contribución de DBO por la zona de expansión de Cali según porcentaje de viviendas que incorporan estrategias de minimización y prevención

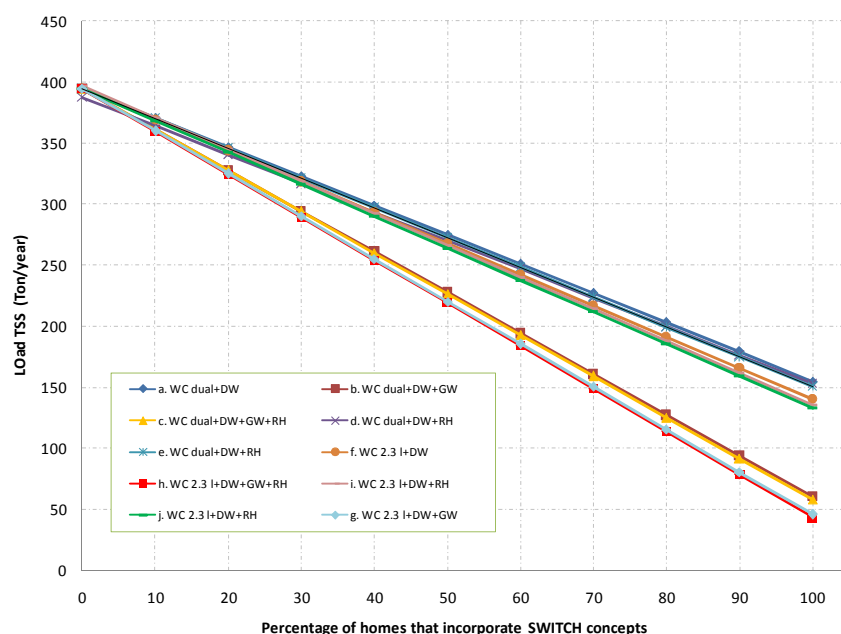


Figura 48 Contribución de SST por la zona de expansión de Cali según porcentaje de viviendas que incorporan estrategias de minimización y prevención

Las igual estrategias h, g, b y c presentan igual factibilidad de implementación, con unos ordenes de elegibilidad similares como lo presentó el último coeficiente gris del análisis AHP-GRA.

## 8.2.6 Comparación de estrategias de minimización y prevención vs. estrategia convencional

### 8.2.6.1 Descripción opción convencional

Emcali en el año 2005 desarrolló un estudio de consultoría con el objeto de presentar alternativas para el abastecimiento de agua, recolección, transporte y disposición de aguas lluvias y residuales y tratamiento de aguas residuales del Corredor Cali-Jamundí y elegir una opción para la prestación de servicios públicos en la zona en mención, teniendo en cuenta aspectos económicos, sociales y ambientales. Posteriormente en el año 2009 se adelantó un nuevo estudio de consultoría para realizar los estudios y diseños de las redes de acueducto y alcantarillado de la primera etapa de del corredor Cali-Jamundí, basados en los estudios desarrollados en el 2005. A continuación se hace una síntesis de los resultados que los estudios de consultoría.

### Manejo de agua potable

En el análisis de densidades de población y dotación de agua potable consideran dotaciones brutas entre los 200 y 340 L/hab\*día asociado al nivel socioeconómico, las cuales incluyen un factor de pérdidas de 25% y un consumo comercial de 13%. La dotación ponderada es de 236 L/hab\*día.

Para el cálculo de la demanda total se realizó una proyección al año 2030, encontrando un caudal de 1067 l/s. El abastecimiento se haría a través de la extensión de la red matriz del sur Cali, explícitamente la tubería de transmisión sur (TTS), la cual abastecería la zona de expansión a través de una estación booster de bombeo.

#### Manejo de agua residual

La producción de aguas residuales fue estimada entre 170 L/habitante\*día a 272 L/habitante\*día considerando un coeficiente de retorno de 0,8, el cual es el factor encontrado en la ciudad de Cali. El caudal total calculado es de 853.6 L/s. En cuanto al sistema de alcantarillado la recomendación final es la implementación de un sistema separado.

En relación al tratamiento de las aguas residuales las alternativas propuestas en los estudios mencionados consideraron el Bombeo a la PTAR Cañaveralejo y el tratamiento en una PTAR Sur.

#### *8.2.6.2 Identificación y cuantificación de beneficios*

Como se mencionó en la metodología, los beneficios identificados están relacionados con la situación incremental frente a la implementación de una estrategia convencional, no se consideran beneficios comunes. A continuación se listan los beneficios asociados a la implementación de estrategias de minimización y prevención.

B1 Reducción de la facturación de acueducto las viviendas. Donde por m<sup>3</sup> se encuentran inmersos en la estructura tarifaria:

- Costos de potabilización (Bombeos, electricidad, químicos, reposición)
- Costos de tratamiento de aguas residuales
- Tasa retributiva y tasa por uso

B2 Disminución de gases de efecto invernadero por menor requerimiento de:

- Infraestructura de bombeo de agua potable
- Emisiones de sistemas de tratamiento por volúmenes de agua residual minimizados

B3 Ahorro en inversión inicial en infraestructura externa

- Red de acueducto
- Estación de bombeo
- Sistema de alcantarillado
- Planta de tratamiento de aguas residuales

B4 Mejoramiento de la calidad del agua de la fuente receptora

- Menor extracción de agua
- Menor disposición de carga contaminante

Estos beneficios se describen en mayor detalle a continuación, presentando además las herramientas utilizadas en su cálculo. En las proyecciones se tuvo en cuenta una tasa de crecimiento constante de la población en el área y un periodo para la densificación de la misma de

20 años. Los beneficios se desarrollaran para las alternativas b, c, g y h, las cuales en el proceso de selección presentaron la posibilidad de elecciones similares.

#### B1. Reducción de la facturación de acueducto y alcantarillado en las viviendas

Considerando los ítems que integra la estructura tarifaria (Minambiente 2009), la reducción en los costos de facturación por parte de los usuarios, es un indicador de la disminución de costos de tratamiento de agua en la planta de potabilización y de tratamiento de aguas residuales, asociados al volumen de agua minimizado tanto en la demanda; aunado a la reducción de tasas tales como la tasa retributiva y la tasa por uso, además de la disminución de requerimientos de bombeo y operación y mantenimiento tanto de agua potable como de agua residual.

Considerando que la zona tiene proyección de estar principalmente habitada por estratos 4, 5 y 6 (DAPM 2000) la tarifa promedio por m<sup>3</sup> de acueducto y alcantarillado en estos niveles socioeconómicos es de \$ 3585 (SUI 2009).

La Tabla 42 presenta la proyección de ahorro cada 5 años, por concepto de acueducto y alcantarillado a lo largo del horizonte del proyecto, teniendo en cuenta la disminución de la demanda que presenta cada alternativa frente a la demanda de la opción convencional que es de 874 L/s. La proyección año a año se presenta en el ANEXO 6.

Tabla 42 Costos evitados por concepto de servicios públicos en la zona de expansión de implementar alternativas de minimización y prevención

Año	2	7	12	17	22	27
Alternativa	Millones de pesos					
Ahorro alternativa b	1.306	7.835	14.364	20.893	26.116	26.116
Ahorro alternativa c	1.374	8.242	15.110	21.978	27.473	27.473
Ahorro alternativa g	1.306	7.835	14.364	20.893	26.116	26.116
Ahorro alternativa h	1.379	8.276	15.172	22.069	27.586	27.586

#### B2 Disminución de gases de efecto invernadero

La disminución de los gases de efecto invernadero, está asociada con la disminución de los requerimientos de bombeo de agua potable de la estación booster a la entrada de la zona de expansión y la minimización de agua residual a tratar en la planta de tratamiento.

##### *Infraestructura de bombeo de agua potable*

La diferencia de caudal demandado entre cada una de las alternativas y la opción convencional, presenta una disminución del requerimiento de potencia y por ende de electricidad en la estación de bombeo booster requerida para presurizar la red en el área de estudio, situación que se presenta gráficamente en la Figura 49.

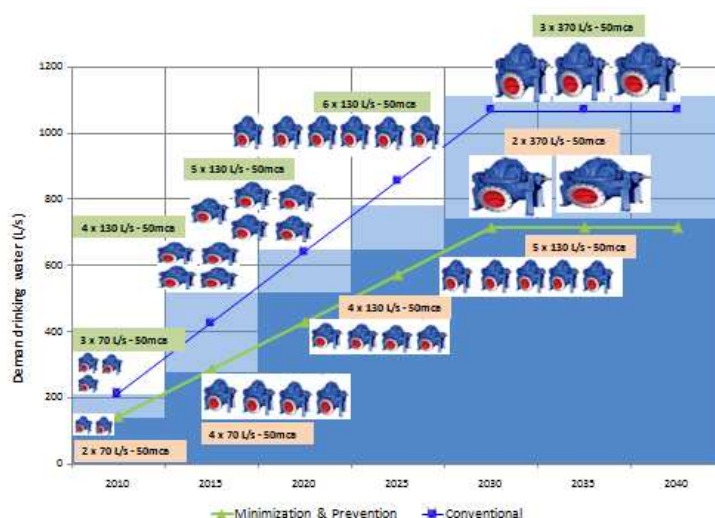


Figura 49 Requerimiento de bombeo de agua potable opciones de minimización y prevención vs. Opción convencional.

El uso de electricidad genera un potencial calentamiento global, asociado a las emisiones de  $\text{CO}_2$ , estimadas para energía hidroeléctrica de 0,3 Kg  $\text{CO}_2/\text{kW}$ . Al ahorrar electricidad en los sistemas de bombeo, se disminuyen estas emisiones de  $\text{CO}_2$  pudiéndose hacer equivalente este ahorro, a la venta de bonos de carbono en el marco de los proyectos de mecanismo de desarrollo limpio. Estos bonos de carbono tienen un costo de \$ 5.400 por tonelada de  $\text{CO}_2$  equivalente.

#### *Emisiones de sistemas de tratamiento por volúmenes de agua residual minimizados*

La implementación de alternativas de minimización y prevención reducen las aguas residuales a tratar. El tratamiento de aguas residuales genera de igual forma diferentes gases, asociados con la digestión aerobia y anaerobia. En la alternativa convencional este volumen sería tratado en la PTAR SUR, la cual para el caso de estudio se supone un tren de tratamiento conformado por laguna anaeróbica de alta tasa y una laguna facultativa. Las plantas se proyectan en descentralizadas acorde al requerimiento según la densificación, calculando dos sistemas que traten cada una la mitad del caudal total. El factor de emisión de  $\text{CO}_2$  equivalente para este tipo de sistemas es de 2.14 Kg  $\text{CO}_2/\text{m}^3$  de agua residual en condiciones similares a las del área de estudio. Al igual que el ahorro de electricidad, esta disminución de gases se puede hacer equivalente a la comercialización de los bonos de carbono en el marco de los proyectos de mecanismo de desarrollo limpio.

La Tabla 43 presenta la proyección del recaudo por concepto de bonos de carbono cada 5 años en cada alternativa. La proyección año a año se presenta en el ANEXO 6.

Tabla 43 Recaudo por bonos de carbono en la zona de expansión de implementar alternativas de minimización y prevención (\$)

Alternativa \ Año	2	7	12	17	22	27
Ahorro alternativa b	10.058	57.633	100.979	145.986	185.616	185.616
Ahorro alternativa c	10.058	57.633	100.979	145.986	185.616	185.616
Ahorro alternativa g	10.496	60.257	105.789	152.983	194.362	194.362
Ahorro alternativa h	10.496	60.257	105.789	152.983	194.362	194.362

### B3 Ahorro en inversión inicial en infraestructura externa

Para estimar el ahorro en infraestructura externa se realizaron tanto para la opción convencional como para la que contempla minimización y prevención: predimensionamientos, cálculo de cantidades de obra y presupuestos con los ítems principales de las redes de acueducto y alcantarillado, estación de bombeo de acueducto y planta de tratamiento de aguas residuales. Los predimensionamientos se realizaron con base en los mismos trazados y condiciones hidráulicas. Los detalles de dimensiones de tuberías y cantidades de obra se presentan en el ANEXO 7.

Las inversiones en las redes principales de acueducto y alcantarillado se ubican en el año 1 de inversión, a pesar de que esta infraestructura no se requiere desde el principio de urbanización del área, puesto que asociado a los periodos de vida útil y la instalación de vías y asfalto no es posible hacer cambios o reposiciones dentro del periodo de análisis. La estación de bombeo booster de agua potable se proyecta escalonada cada cinco años, asociado al incremento en la demanda por la densificación de la zona de estudio. Se proyectan dos sistemas de tratamiento con laguna anaerobia de alta tasa y laguna facultativa para ambas opciones, uno con construcción en el año 1 y el segundo en el año 10. Los ahorros de inversión inicial en infraestructura externa se presentan cada cinco años en la Tabla 44. La proyección año a año en el periodo de análisis se presenta en el ANEXO 6.

Tabla 44 Costos evitados por concepto de ahorro en infraestructura externa en la zona de expansión de implementar alternativas de minimización y prevención (\$)

	VPN	1	5	10	15	20
Red de acueducto	6.628.619.369	7.357.767.500				
Estación de bombeo de agua potable	284.056.054	77.777.778	77.777.778	288.888.889	72.222.222	411.111.111
Alcantarillado sanitario	2.016.067.568	2.237.835.000				
PTAR	3.429.535.083	2.736.872.633	0	2.736.872.633	0	0
Flujo de caja de inversión con minimización	12.358.278.074	12.410.252.911	77.777.778	3.025.761.522	72.222.222	411.111.111
Red de acueducto	7.156.630.631	7.943.860.000	0	0	0	0
Estación de bombeo de agua potable	393.564.480	116.666.667	288.888.889	72.222.222	72.222.222	616.666.667
Alcantarillado sanitario	2.389.950.450	2.652.845.000	0	0	0	0
PTAR	11.594.931.547	6.770.670.692		6.770.670.692		
Flujo de caja de inversión Convencional	21.535.077.108	17.484.042.358	288.888.889	6.842.892.914	72.222.222	616.666.667
Ahorro	9.176.799.035	5.073.789.447	211.111.111	3.817.131.392	0	205.555.556

#### B4 Mejoramiento de la calidad del agua de la fuente receptora

La disminución de aporte de carga contaminante y la menor extracción de agua en la planta de Puerto Mallarino dan como resultado el mejoramiento de la calidad del agua en el río Cauca, proporcionando un incremento en el oxígeno disuelto (OD) y por ende un mejoramiento de la biodiversidad.

Para la identificación de estos beneficios se realizaron dos escenarios con el objeto de conocer la concentración de OD en el río Cauca, estas se efectuaron a través de simulaciones, implementando el modelo de calidad del agua MIKE 11. Para la calibración del modelo se utilizó la base de datos construida a partir de la información de la campaña de muestreo realizada en el año 2003 (CVC – Universidad del Valle, 2003) y sobre estas se realizaron las modificaciones acorde a las características de los escenarios formulados. Estas simulaciones tienen en cuenta una condición climática de verano, la cual se considera como característica crítica en cuanto a calidad del agua se refiere (Universidad del Valle - EIDENAR and CVC 2007).

Se definió como año base para los escenarios formulados las cargas y demandas asociadas a la densificación completa de la zona que sería la situación más crítica. La esquematización, fronteras internas, cargas de DBO, tributarios considerados se mantienen los definidos en el proyecto PMC (Universidad del Valle - EIDENAR and CVC 2007).

Al realizar las simulaciones de los escenarios formulados se encontró que la situación de implementar las estrategias de minimización y prevención no implica una mejoría en la calidad del río. Los volúmenes de extracción de agua y las cargas vertidas no son considerables frente a las características de la fuente receptora tanto hidráulicas ( $Q$  promedio de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) como los problemas de calidad que presenta el río Cauca, en relación a los vertimientos existentes tanto domésticos como industriales. Los beneficios mencionados no se considerarán en el análisis ya que la implementación de las alternativas de minimización y prevención en la zona de expansión aisladas de acciones en otros frentes no representa ningún impacto en el mejoramiento de la calidad del agua del Río Cauca.

Este beneficio no se cuantifica, ya que no por factores externos no se identificó el beneficio asociado.

##### *8.2.6.3 Identificación y cálculo de costos*

Los costos de implementar las alternativas de minimización y prevención están asociados a la infraestructura adicional en redes internas tal como se presentó en el ítem 8.2.5.1 en el indicador de costos de inversión inicial, operación y mantenimiento en redes internas, en los que incurren los usuarios al usar estas opciones.

Los costos estimados de implementar aguas lluvias y aguas grises, se presentaron junto con los criterios de diseño y el dimensionamiento en el ANEXO2 Pesos de criterios de selección, ANEXO 3

Apoyo institucional alternativas de minimización y prevención, ANEXO 2, ANEXO 3A, ANEXO 4 y ANEXO 5 respectivamente. Con base en estos se construye la tabla de costos de infraestructura requerida para cada alternativa incorporando el sobre costo del equipo respectivo para la evacuación de excretas (Tabla 45).

Tabla 45 Costos de implementación de estrategias de minimización y prevención en la zona de expansión de Cali

Sistema	Alternativa b		Alternativa c		Alternativa g		Alternativa h	
	Casa	Apartamento	Casa	Apartamento	Casa	Apartamento	Casa	Apartamento
Valores en pesos								
Aparato de bajo consumo	110.000	110.000	110.000	110.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Sistema de aguas lluvias	-	216.000	887.500	216.000	-	216.000	887.500	216.000
Sistema de aguas grises	987.500	402.500	987.500	402.500	987.500	402.500	987.500	402.500
Subtotal	1.097.500	728.500	1.985.000	728.500	1.467.500	1.098.500	2.355.000	1.098.500
Millones de pesos								
Total inversión anual. Constante entre año 1-año 20	3.740		3.310		4.148		4.639	

En relación a los requerimientos de operación y mantenimiento de las tecnologías se estima un costo de \$100.000/año de cada sistema (aguas grises-aguas lluvias), de tal forma que cada uno tenga una revisión periódica cada 4 meses.

#### 8.2.6.4 Indicadores de viabilidad económica

El análisis financiero de implementar las cuatro estrategias de minimización y prevención se realiza a través del análisis del flujo de caja encontrado entre la diferencia de los costos y los beneficios y la revisión de indicadores de viabilidad económica.

Los flujos para cada una de las alternativas en el horizonte de análisis se presentan en el ANEXO 6.

Estos flujos se revisaron gráficamente presentando los mismos puntos de quiebre y tendencias como los que se muestran en de la Figura 50.

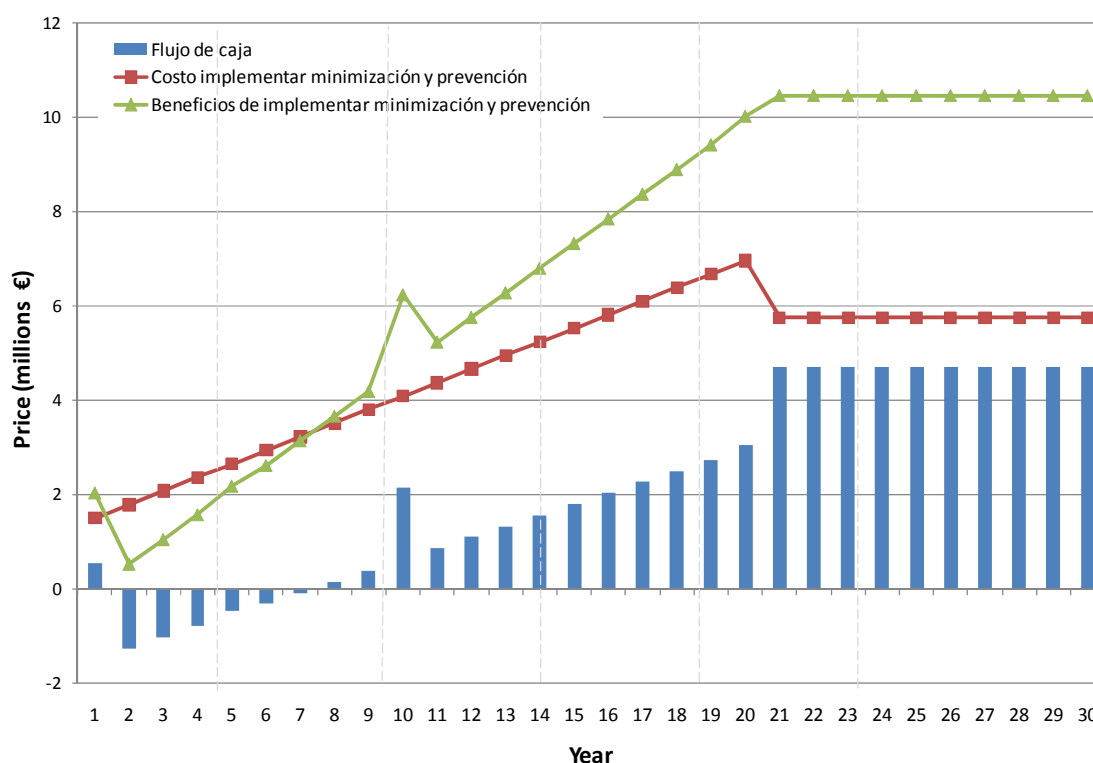


Figura 50 Flujo de caja de implementar alternativa b vs. Estrategia convencional en la zona de expansi3n de Cali

La aplicaci3n de las alternativas de minimizaci3n y prevenci3n presentan beneficios en t3rminos de rentabilidad econ3mica. En el a3o 1, el beneficio est3 asociado a las economías que se generan en inversi3n inicial en las redes externas e infraestructura de abastecimiento y saneamiento, ya que al disminuir las dimensiones de las tuberías o de equipos, se disminuyen notablemente las cantidades de obra y por ende los presupuestos. Posterior al a3o 1 el flujo de caja se hace negativo asociado a la incorporaci3n de nuevos usuarios y los requerimientos de inversi3n en las redes internas, adem3s estos son m3s altos que los beneficios que se perciben vía tarifa. Esta condici3n se da hasta el a3o 8, que es cuando el n3mero de usuarios que implementan las opciones de minimizaci3n y prevenci3n reciben los beneficios de ahorro de acueducto y alcantarillado haciéndose equivalentes en este punto de equilibrio frente a los nuevos usuarios que se est3n conectando.

En el a3o 10 se percibe un beneficio considerable, el cual se debe al ahorro en la segunda planta de tratamiento de agua potable. Al tener menor caudal de aguas residuales, la planta de tratamiento disminuye sus dimensiones siendo mayor el ahorro por esta infraestructura.

Los costos presentan la tendencia creciente relacionada con los nuevos usuarios que se ubican en la zona. De la misma forma los beneficios por la tarifa se van incrementando hasta el a3o 21 donde el área de estudio se ha densificado completamente. A partir de este a3o tanto los costos que

están asociados con la operación y el mantenimiento y los beneficios relacionados con la tarifa de acueducto y alcantarillado se hacen constantes.

La Tabla 46 presenta los indicadores de rentabilidad de cada una de las alternativas analizadas. En general aplicar minimización y prevención genera beneficios económicos para todas las alternativas ya que se encontraron relaciones costo-beneficio superiores a 1. Al comparar entre las alternativas propuestas se encuentra que la alternativa c genera el mayor beneficio económico. La alternativa b y c consideran el uso de equipo de doble descarga el cual resulta más económico que el de 2.3 implicando menor requerimiento de inversión.

Aunado al beneficio de menor inversión inicial, el incorporar las aguas lluvias y aguas grises hacen que las necesidades de equipos de alta eficiencia se disminuyan pues percé traen los beneficios económicos. La alternativa b, como no considera el uso de agua lluvia en el lavado de ropa, no generó el beneficio de ahorro en la tarifa disminuyendo su rentabilidad a pesar de la economía en inversión inicial del sistema de aguas lluvias.

Tabla 46 Indicadores de rentabilidad económica de implementar estrategias de minimización y prevención en la zona de expansión

	Alternativa b	Alternativa c	Alternativa g	Alternativa h
VPN Costos (millones de pesos)	76.071	72.646	79.322	83.226
VPN Beneficios (millones de pesos)	90.227	94.599	90.227	94.964
VPN Beneficios-VPN Costos (millones de pesos)	14.157	21.953	10.906	11.738
VPN Beneficios/VPN Costos	1,19	1,30	1,14	1,14

Al hacer un análisis por actor se encuentra que a nivel del prestador del servicio la implementación de minimización y prevención es positiva ya que los requerimientos de inversión inicial son menores hasta un 42%.

A nivel del usuario, las inversiones iniciales son compensadas vía tarifa, contribuyendo este en el uso eficiente del agua, mejoramiento del ambiente y disminución del aporte de carga contaminante.

Con la revisión realizada se recomienda como alternativa la alternativa C.

## 8.3 Minimización y prevención en manejo de aguas de drenaje

### 8.3.1 Caracterización de alternativas

Asociado a los problemas de contaminación relacionados con los vertimientos de aguas pluviales surge la necesidad de afrontar la gestión de las aguas lluvias desde una perspectiva diferente a la convencional, que combine aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales, llevando a un aumento progresivo a nivel mundial del uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), conocidos también como BMP's (Best Management Practices).

Los SUDS son técnicas y medidas de control que se utilizan para gestionar la cantidad y mejorar la calidad de la escorrentía de aguas pluviales siendo en la mayoría de los casos más económico. La EPA los define como las prácticas de gestión, listas de actividades o prohibiciones, para evitar o reducir la contaminación de las aguas (EPA 2004).

En este contexto y acorde a la clasificación en función del concepto de minimización y prevención, los sistemas SUDS hacen parte de técnicas de reducción en origen.

La EPA, ha clasificado las medidas de control en no estructurales y las estructurales, refiriéndose en la primera a medidas preventivas y de control y la segunda a la gestión en el origen y en la cuenca, (EPA 2004) la Figura 551 presenta un diagrama de esta clasificación y las alternativas, las cuales se describen a continuación.



Figura 551 Opciones para el control de la contaminación por aguas de escorrentía  
Fuente: Adaptado de (EPA 2004)

#### 8.3.1.1 Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales previenen por una parte la contaminación del agua reduciendo las fuentes potenciales de contaminantes y por otra evitan parcialmente el tránsito de las escorrentías

hacia aguas abajo y su contacto con contaminantes (EPA 2004). Las medidas estructurales de mayor difusión se describen en la Tabla 47.

Tabla 47. Medidas no estructurales para el control de contaminación por escorrentía

<b>Control de impermeabilización de área de desarrollo</b>	
Planificar y diseñar minimizando las superficies impermeables para reducir la escorrentía.	
<b>Educación</b>	
Dentro de las principales actividades a nivel de educación se encuentra:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concienciar a la población del problema y sus soluciones</li> <li>- Identificar agentes implicados y esfuerzos realizados hasta la fecha</li> <li>- Cambio de hábitos</li> <li>- Hacer partícipe del proceso a la población, integrando sus comentarios en la implementación de los programas</li> </ul>	
<b>Reducción del uso de contaminantes</b>	
Controlar la aplicación de herbicidas y fungicidas en parques y jardines.	
<b>Limpieza de calles</b>	
Limpieza frecuente de superficies impermeables para reducir la acumulación de contaminantes.	

Fuente: adaptado de (EPA 2004)

### 8.3.1.2 Medidas estructurales

Las medidas estructurales contemplan cubiertas verdes, superficies permeables, franjas filtrantes, pozos y zanjas de infiltración, depósitos de infiltración, depósitos de detención, estanques de retención, humedales (EPA 2004).

En esencia la filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana minimizando los impactos en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía (en origen, durante su transporte y disposición), así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación (Perales and Doménech 2007).

Estos sistemas se han evaluado en contraposición al manejo convencional encontrándose disminución de los volúmenes y altas eficiencias de remoción de las cargas contaminantes como se presenta en la Tabla 48 y la Tabla 49 respectivamente. La relación entre eficiencias de remoción, requerimientos de operación y mantenimiento y oferta ambiental se presenta en la Tabla 50. Acorde a la clasificación presentada por la EPA de estos sistemas posteriormente se describe cada uno incluyendo tablas de ventajas, desventajas, aspectos de operación y mantenimiento y diseño a tener en cuenta en cada uno de los mismos.

Tabla 48 Influencia de SUDS en el control de la cantidad de aguas lluvias

Tipo SUDS	Control de inundaciones	Reducción de picos de caudal
Lagunas secas de detención	Alta, reducción en un 30% del escurrimiento total sin embargo las inundaciones se incrementan aguas arriba en algunos casos	Alta acorde a los diseños
Lagunas de retención		
Zanjas de infiltración	Moderada	Moderada, cuando es bien diseñada y mantenida, todo el escurrimiento es desviado hacia las aguas subterráneas
Pavimentos	Variable	Alta, , cuando es bien diseñada y mantenida, todo el

Tipo SUDS	Control de inundaciones	Reducción de picos de caudal
porosos		escurrimiento es desviado hacia las aguas subterráneas
Bioretención	Baja a moderada – 40% de reducción del volumen	Baja en una cuenca individual, tiene alto impacto en baja escala
Arena o filtro orgánico	Entre bajo y ninguno	Entre bajo y ninguno
Humedal	Moderada a alta, depende de la permanencia del funcionamiento del humedal	Alta acorde a los diseños
Zanja filtrante	Baja a moderada – 30 – 40 % de reducción del volumen	Moderada contando con buen mantenimiento

Fuente: (EPA 2004)

Tabla 49 Control de la calidad de aguas lluvias en SUDS

Tipo SUDS	SST	Fósforo total	Nitrógeno total	NOx	Metales
Lagunas secas de detención	61	19	31	9	26-54
Lagunas de retención	68 +/- 10	55 +/- 7	32 +/- 11	34 +/- 21	36-65
Zanjas de infiltración	75	60-70	55-60	-90	
Pavimentos porosos	82-95	65	80-85		98-99
Bioretención	80	65-87	49	16-16	43.97
Arena o filtro orgánico	66-95	4-51	44-47	95-22	34-88
Humedal	71+/- 35	56+/- 35	19 +/- 29	40 +/- 68	0-57
Zanja filtrante	54-84	25-40	20	27-20	16-55

Fuente: (EPA 2004)

Tabla 50. Eficiencias de remoción, calificación de mantenimiento y oferta ambiental

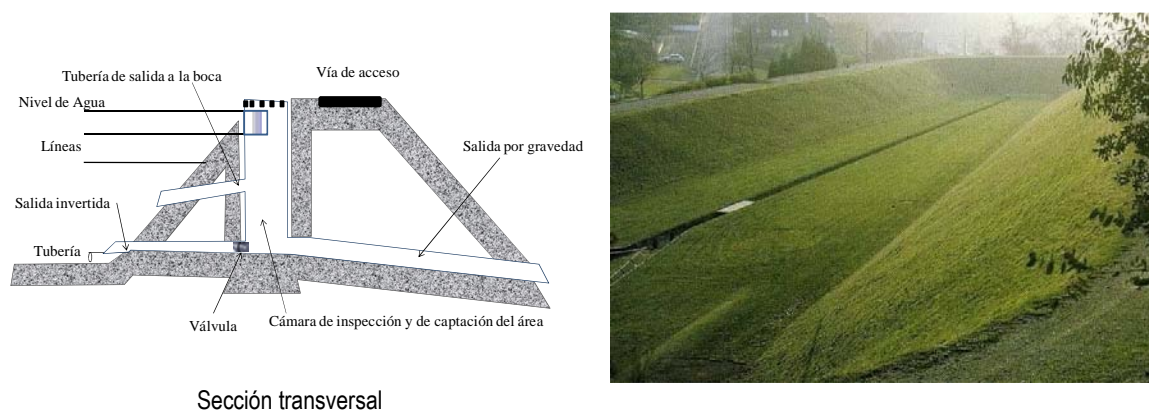
Método de manejo	Robustez del diseño hidráulico	% Eficiencia de remoción						Requerimientos de mantenimiento	Valor estético y biológico
		SST	Nitrógeno total	Bacterias	Hidrocarburos	Metales			
						Total	Disueltos		
Sistemas de tubería	Alta	10-30	-	-	5-10	10-20	0	- Bajo a moderado - Costoso de reemplazar	Ninguno
Dren filtrante	Baja-Moderada	60-90	20-30	20-40	70-90	70-90	10-20	- Bajo a moderado - Costoso de reemplazar - Potencial de obstrucción	- Discreto - No tiene valor en habitat
Zanjas de infiltración	Bajo-Alto	60-90	20-50	70-80	70-90	70-90	20-35	- Moderado a alto - Reinstalación costosa - Potencial de obstrucción	- Discreto - Limitado valor en habitat
Zanjas verdes	Alto	10-40	10-35	30-60	60-75	70-90	15-25	- Más costoso que el drenaje convencional	- Moderado atractivo visual - La selección de las plantas pueden mejorar el habitat
Lagunas de sedimentación	Bajo-Moderado	50-85	10-20	45-80	60-90	60-90	20-30	- Moderado a alto - Dragado de lodos costoso	- Algún valor estético
Sistemas de detención	Moderado a Alto	60-80	20-40	20-40		40-55	0-15	- Moderado	- Limitado
Humedales	Moderado a Alto	70-95	30-50	75-90	50-85	40-75	15-40	- Moderado a alto - Costoso reemplazar las plantas	- Visualmente alto - Habitat atractivo

Fuente: (Cereve et al. 2010)

## Almacenamientos y lagunas

### ❖ *Sistemas de detención*

Los sistemas de detención se implementan sólo durante o inmediatamente después de un evento de lluvia, los cuales son diseñados para interceptar y atenuar el caudal de lluvia y controlar la tasa del flujo de salida. Su volumen está determinado según las principales vías del flujo para un rango de determinados eventos de lluvia. Su función primaria es reducir inundaciones urbanas y erosión en los canales aguas abajo, pero también pueden contribuir al mejoramiento de la calidad del agua por la retención del agua y por ende de sólidos la cual se encuentra entre un 35 a 40%. Requiere altos niveles de mantenimiento. En la Figura 52 se presenta la sección del talud de un sistema de detención (Cereve et al. 2010).



Sección transversal

Figura 52 Sistema de detención

Tabla 51. Ventajas y desventajas en gestión de drenaje de sistemas de detención

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generan beneficios de calidad y control del exceso de escorrentía urbana (EPA 2004; Mays 2001).</li> <li>- Disminución de la erosión de los taludes de los cauces y del potencial de inundación aguas abajo.</li> <li>- Se adaptan a la mayoría de climas</li> <li>- Aprovechamiento de espacios abiertos para recreación y paisajismo (Ministerio de vivienda y urbanismo 1996)</li> <li>- Crea un hábitat ecológico que atrae la vida salvaje (Urbonas 2002).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requieren de grandes áreas</li> <li>- Si el sistema cuenta con un diseño inadecuado y no tiene un buen mantenimiento puede causar malos olores y acumulación de basuras flotantes, perdiendo su belleza natural (EPA 1999)</li> <li>- Puede generar el aumento de la población de mosquitos</li> </ul>

Tabla 52. Requerimientos de operación y mantenimiento de sistemas de detención

Se recomienda realizar dos tipos de mantenimiento: preventivo y correctivo, el mantenimiento preventivo incluye inspecciones, cuidado de la vegetación y limpieza. Se debe inspeccionar el estanque para verificar que continúa funcionando como es de esperarse; examinando las descargas para detectar obstrucciones, las zonas con erosión o sedimentación excesiva, el crecimiento de plantas y la integridad de los elementos. Según las condiciones climáticas se debe ajustar la frecuencia de riego para garantizar un mínimo de humedad y una cubierta densa de vegetación, se debe podar el material vegetal y retirarlo del estanque, se deben extraer todo tipo de basuras y materiales extraños para evitar la obstrucción de las unidades de descarga. El mantenimiento correctivo implica la retirada de sedimentos, control ambiental y reparaciones estructurales. Los sedimentos deben ser removidos cuando sea necesario, al menos una vez cada diez años.

Fuente: (Cereve et al. 2010; CIRIA 2007; EPA 2004)

Tabla 53. Aspectos de diseño de sistemas de detención

<p>Se requieren niveles freáticos bajos y/o profundidades considerables del lecho, pendientes bajas,</p> <p>Después de elegir el lugar para el sistema de detención o retención, se debe realizar un prediseño del volumen de almacenamiento requerido, el cual depende de la diferencia del caudal de escorrentía de la zona urbanizada y el caudal de descarga permitido (Galarza 2005).</p> <p><b>Ubicación:</b> la selección del lugar depende de los costos, la seguridad pública y el mantenimiento (Galarza 2005).</p> <p><b>Diseño del estanque:</b> se deben considerar todas las unidades necesarias para un adecuado funcionamiento del sistema: estructuras para controlar el caudal de entrada, disipadores de energía para controlar la erosión a la entrada y salida, canales para caudales efímeros, estanque para almacenamiento temporal y una estructura de salida.</p> <p><b>Caudal de descarga:</b> se debe tener en cuenta dicho caudal especialmente en zonas urbanizadas, con el fin de evitar inundaciones o problemas asociados a la descarga.</p> <p><b>Impacto sobre las aguas subterráneas:</b> se debe analizar la capacidad de infiltración del suelo en el cual se va a construir el estanque, con el objeto de prevenir la saturación en eventos extremos de lluvia.</p>
---

Fuente: (Cereve et al. 2010; CIRIA 2007; EPA 2004)

#### ❖ *Lagunas artificiales y de retención*

Las lagunas son esencialmente un gran tanque de sedimentación pero en lugar de ser construidos con materiales como concreto, hierro, etc. son formaciones de tierra que forma una cuenca o excavación. A pesar de que los costos iniciales son altos, las lagunas no necesitan mantenimientos costosos. Son tan simples como un sistema de detención pero se puede incorporar vegetación, la cual contribuye en el tratamiento de los contaminantes del escurrimiento (Cereve et al. 2010).

Las lagunas pueden proporcionar tanto la atenuación de crecidas como el tratamiento. Son diseñadas para soportar vegetación acuática emergente y sumergida a lo largo de su orilla. El escurrimiento de cada evento de lluvia es detenido y tratado en la piscina. El tiempo de retención promueve la remoción de contaminantes mediante la sedimentación y la oportunidad para que incremente la tasa de los mecanismos biológicos de absorción de nutrientes (CIRIA 2007)

Tabla 54. Ventajas y desventajas en gestión de lagunas artificiales y de retención

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de remover sólidos y contaminantes disueltos</li> <li>- Estéticamente agradable</li> <li>- Puede incrementar el valor de las propiedades adyacentes cuando son planeadas y ubicadas adecuadamente</li> <li>- El retiro de sedimentos es menos frecuente que en otros sistemas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más costoso que sistemas de detención extensos.</li> <li>- Requiere volúmenes de almacenamiento más grandes para las lagunas permanentes y el control de las crecidas requiere más área de terreno.</li> <li>- La infiltración y la recarga de acuíferos es mínima. Por lo tanto el control del volumen de la escorrentía es insignificante.</li> <li>- Requiere relativamente grandes áreas de terreno y mayor mantenimiento.</li> <li>- Potencial contribución al calentamiento aguas abajo del sistema.</li> </ul>

Fuente: (EPA 2004)

Tabla 55. Requerimientos de operaci3n y mantenimiento de lagunas artificiales y de retenci3n

- Se debe inspeccionar por lo menos una vez al a1o para verificar que las condiciones iniciales de dise1o sean adecuadas.
- La estructura de salida debe ser inspeccionada para detectar obstrucciones o liberaci3n demasiado r1pida de flujo.
- Revisar los sedimentos de la antec1mara y eliminarlos una vez al a1o.
- Los sedimentos de la laguna deben ser removidos cuando sea necesario y al menos una vez cada 10 a1os.
- La estructura de salida debe estar dise1ada para facilitar el mantenimiento; las partes vitales de las estructuras deben tener accesibilidad para el personal de mantenimiento.

Fuente: (Cereve et al. 2010; CIRIA 2007; EPA 2004)

Tabla 56. Aspectos de dise1o a tener en cuenta de lagunas artificiales y de retenci3n

- El volumen y la geometr1a son los par1metros cr1ticos de dise1o, porque de la relaci3n entre el volumen y la cantidad permanente de agua, contribuye a la afectaci3n de las tasas de remoci3n adecuada de contaminantes del agua de escurrimiento.
- La profundidad de la piscina es un factor importante especialmente para la deposici3n de sedimentos. Se recomienda una profundidad entre 3 y 6 pies. Las lagunas con profundidades superiores a 8 pies, pueden presentar problemas de eutroficaci3n.
- El dise1o original de la parte h1meda de la laguna, debe tener en cuenta la acumulaci3n gradual de sedimentos.
- Se deben considerar para el drenaje de 1reas mayores a 10 acres, no se utilizan en sectores pendientes o inestables

Fuente: (Cereve et al. 2010; CIRIA 2007; EPA 2004)

#### ❖ *Humedales construidos*

Los humedales construidos son sistemas dise1ados para simular las funciones de mejoramiento de calidad de agua de humedales naturales, donde se trata y se contienen los contaminantes del escurrimiento superficial disminuyendo las cargas contaminantes de los cuerpos receptores, adem1s contribuyen en amortiguar picos de caudal asociado al volumen que pueden almacenar. Los humedales demandan una mayor 1rea superficial que una laguna, adem1s contienen vegetaci3n (NYSDEC, 2001 citado por (EPA 2004).

Los humedales pueden construirse de flujo superficial, flujo sub-superficial y flujo vertical. En el de flujo superficial, el agua pasa directamente a trav1s de del suelo que contiene plantas. En el de flujo sub-superficial el flujo tambi1n es horizontal, pero el agua viaja a trav1s de un sustrato (grava) entre las ra1ces de las plantas. En el de flujo vertical el sistema tiene unos requerimientos operacionales espec1ficos y son raramente usados para prop3sitos de SUDS (Cereve et al. 2010).

La remoci3n de los contaminantes en un humedal es la mezcla de tratamientos f1sicos, que incluyen evaporaci3n y sedimentaci3n, adsorpci3n y filtraci3n. En adici3n procesos qu1micos como descomposici3n, utilizaci3n de nutrientes y degradaci3n (Cereve et al. 2010).

Se debe realizar un balance de agua para determinar la disponibilidad para mantener la vegetaci3n acu1tica entre los eventos de escurrimiento y durante los per1odos secos. Adem1s, debe incorporarse una antec1mara de sedimentos o alguna disposici3n de pretratamiento del sistema de

humedales para permitir la eliminación de sedimentos gruesos que pueden degradar el rendimiento del sistema. Además, se debe impedir la entrada de los sedimentos de la construcción de los humedales artificiales, como la carga de sedimentos resultante puede producir graves problemas de funcionamiento del sistema (EPA 2004). La Figura 53 y Figura 54 muestran la configuración de un humedal

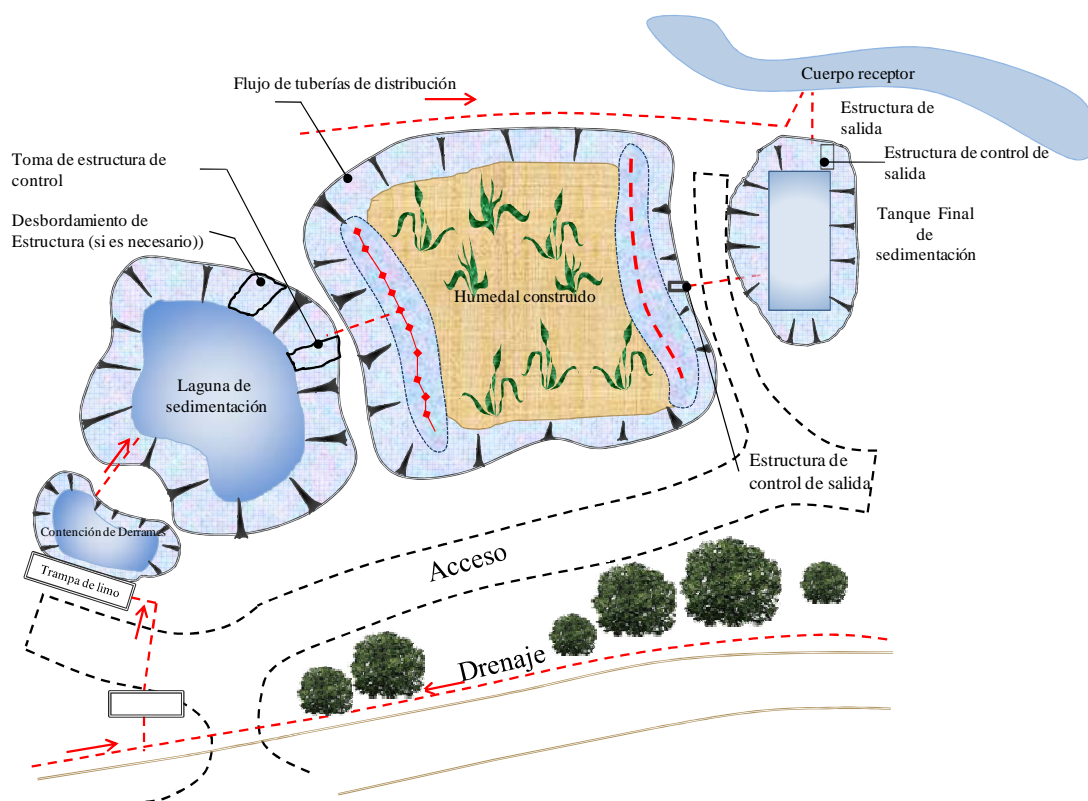


Figura 53 Vista en planta de componentes de un humedal  
Fuente: (Cereve et al. 2010)

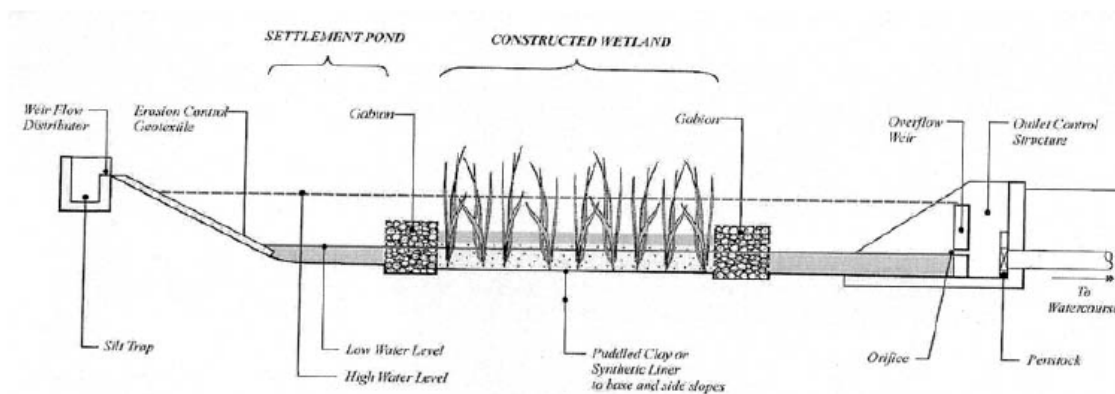


Figura 54 Vista transversal de humedal  
Fuente: (Cereve et al. 2010)

La mayoría de experiencias en humedales se encuentran alrededor del tratamiento de aguas residuales, siendo pocas las experiencias de estos sistemas para el tratamiento de aguas de escorrentía, la Tabla presenta los rangos promedios de eficiencias de remoción de contaminantes reportadas en la literatura de humedales que reciben aguas de escurrimiento de vías en el Reino Unido, Francia, Canadá y los estados Unidos (Cereve et al. 2010).

Tabla 57. Porcentaje de remoción de contaminantes en humedales construidos

Tipo de humedal	SST	Coliformes fecales	Nitrógeno total	Fosforo total	Metales	Pb	Zn	DBO
Sub-superficial	85	88	44	50		83	42	
Superficial	73	92	33	43		69	58	15

Fuente: (Cereve et al. 2010)

Los humedales son aptos para áreas mínimas de captación de 3-4 ha.(Cereve et al. 2010)

Tabla 58. Ventajas y desventajas en gestión de drenaje de humedales construidos

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remoción eficiente de sólidos suspendidos, microorganismos patógenos, desechos orgánicos y algunos metales y nutrientes solubles.</li> <li>- Aumento de la diversidad de la flora y fauna en áreas urbanas</li> <li>- Aprovechamiento de espacios abiertos para el paisajismo.</li> <li>- Bajos costos de mantenimiento</li> <li>- Control de la erosión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requerimiento de un caudal base para mantener la vegetación</li> <li>- Liberación de nutrientes en el fondo</li> <li>- Posible contaminación de las aguas subterráneas</li> <li>- Dependiendo del diseño puede requerir grandes áreas</li> <li>- La temperatura del agua superficial puede aumentar afectando en la descarga a los cursos naturales de agua.</li> </ul>

Fuente: (EPA 2004; Galarza 2005)

Tabla 59. Requerimientos de operación y mantenimiento de humedales construidos

Los humedales artificiales requieren un mantenimiento rutinario. La bahía de derivación debe drenarse una vez al año para evitar la acumulación excesiva de sedimentos. El sistema debe inspeccionarse constantemente durante los primeros años para observar el comportamiento de las plantas en los diferentes periodos (DEP and CZM 1997)	
O&M regular	Mantenimiento de la zona verde y el césped que cortan (3-4 por año) - Remoción de basura y escombros (2-3 por año) - Limpieza de entrada y salida (2 por año) - Control de aceites (anualmente; después de las tormentas) (Cereve et al. 2010).
O&M ocasional	Limpieza de la vegetación de los taludes- Control/remoción mala hierba. - Remoción y replanteo de vegetación- Remoción de sedimentos (1 x 3-4 años; disposición del sedimento, 1 x 10 años) (Cereve et al. 2010).
Monitoreo	Inspección de entrada y salida (2 x año; y después de las tormentas grandes) - Acumulación del sedimento (1 x año) - Revisión de rejillas (1 x año; después de las tormentas grandes) (Cereve et al. 2010).

Tabla 60. Aspectos de diseño a tener en cuenta de humedales construidos

Limitación por el tipo de suelo, profundidad del agua subterránea, área de drenaje y área disponible (EPA 2004). Se recomienda la utilización de bahías de derivación para disminuir la velocidad y la carga de sedimentos. Esta estructura ayuda a que el flujo se vuelva laminar y se debe diseñar con el 10% del volumen del humedal (Galarza 2005).

Máxima profundidad 2 m, relación largo:ancho 3:1 (CIRIA 2007).

Los suelos donde se ubican pueden tener bajas tasas de infiltración, de lo contrario se requiere la instalación de geotextil. Se debe considerar un volumen adicional de 20% para el almacenamiento de sedimentos. (Cereve et al. 2010)

#### ❖ *Tanques de sedimentación*

Los tanques de detención están normalmente en línea, facilita el almacenamiento, teniendo una salida estrecha que causa una elevación temporal del nivel del agua para generar un periodo de detención durante cada evento de lluvia. Baffles internos y otras estructuras pueden incrementar su funcionamiento disminuyendo la resuspensión o pérdida de sedimentos y material flotante durante altos flujos (Cereve et al. 2010).

Tabla 61. Ventajas y desventajas en gestión de tanques de sedimentación

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocupan menos espacio</li> <li>- Capacidad alta de remoción de sólidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El mantenimiento y autolimpieza es más complicado.</li> <li>- Tienen remoción muy baja de sólidos disueltos y contaminantes orgánicos.</li> <li>- Altos costos de mantenimiento.</li> </ul>

Fuente: (EPA 2004)

Tabla 62. Aspectos de diseño a tener en cuenta de tanques de sedimentación

- Se debe analizar la capacidad de la cámara de sólidos para evitar una sedimentación excesiva.
- Se deben considerar las pendientes necesarias para la autolimpieza.
- La relación ancho largo debe ser lo más grande posible, pero el ancho no debe superar los 4 metros.

Fuente: (CIRIA 2007)

#### ❖ *Techos ajardinados*

Los techos verdes, también conocidos como cubiertas vegetadas, eco-cubiertas o cubiertas naturales, generan múltiples beneficios que ayudan a disminuir los efectos de la urbanización en relación a la calidad del agua por filtración, absorción y retención de la lluvia. Esta es una de las mejores vías para la reducción de los volúmenes de aguas lluvias por la pérdida vía evapotranspiración (EPA 2004).

Este es un sistema multicapa, la sección típica se presenta en la Figura 55.

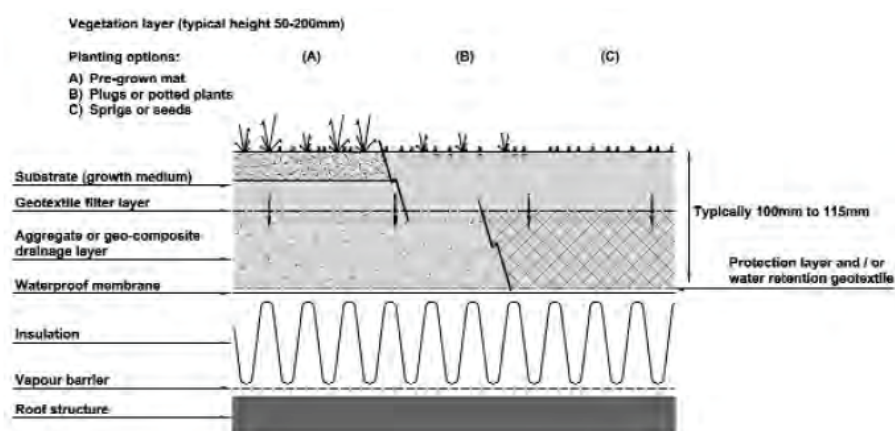


Figura 55 Estructura cubierta verde  
Fuente: (CIRIA 2007)

Tabla 63 Ventajas y desventajas en gesti3n de drenaje de techos ajardinados

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena capacidad de remoci3n de contaminantes atmosf3ricos</li> <li>- Pueden ser aplicados en proyectos de alta densidad</li> <li>- Se puede adaptar para beneficios ecol3gicos, est3ticos y recreativos.</li> <li>- No requieren terrenos adicionales</li> <li>- Mejora la calidad del agua</li> <li>- Ayuda a retener altos niveles de humedad en 3reas de ciudad</li> <li>- Aisla las edificaciones de los niveles extremos de temperatura</li> <li>- Reduce la expansi3n y contracci3n de las membranas del techo.</li> <li>- Absorci3n del sonido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo (comparado con los sistemas de drenaje convencionales)</li> <li>- No es apropiado para techos empinados</li> <li>- La adaptaci3n puede ser limitada por la estructura del techo (fuerza, tono etc.)</li> <li>- Mantenimiento de la cubierta vegetal</li> <li>- Cualquier da1o a la membrana impermeable puede ser m3s cr3tico ya que el agua tiende a permanecer en el techo.</li> </ul>

Fuente: (CIRIA 2007)

Tabla 64 Requerimientos de operaci3n y mantenimiento de techos ajardinados

Programa de mantenimiento	Acciones requeridas	Frecuencia
Mantenimiento Regular	Remove los escombros y la basura para evitar la obstrucci3n de la entrada a los desag1es y la interferencia con el crecimiento de las plantas	Cada seis meses, anual, o lo requerido
	Durante el establecimiento (es decir un a1o) reemplazar las plantas muertas como sea necesario	mensualmente (pero usualmente la responsabilidad es del personal de mantenimiento)
	Despu3s del establecimiento reemplace las plantas muertas cuando sea necesario	Anualmente
	Retire las hojas ca3das y escombros de follaje de las plantas	Semestralmente
	Quitar las molestias y las plantas invasoras incluyendo las malas hierbas	Semestralmente

Programa de mantenimiento	Acciones requeridas	Frecuencia
	Cortar las hierbas según sea necesario, los recortes deben ser retirados para evitar su acumulación	Semestralmente
Acciones de remediación	Si la erosión en los canales es evidente, estos deben estabilizarse con sustrato de suelo adicional, similar al del material original. Las causas de la erosión deben ser identificadas y controladas	Según sea necesario
	Si la entrada de desagües ha sido obstruida, agrietada o retirado, investigar y reparar según sea apropiado.	Según sea necesario
Monitoreo	Inspeccionar todos los componentes incluyendo el sustrato del suelo, la vegetación, los desagües, los sistemas de riego (si aplica), las membranas, el funcionamiento correcto de estructura del techo, la integridad de la impermeabilización y la estabilidad estructural.	Anualmente o después de una tormenta severa
	Inspeccionar el sustrato del suelo en busca de evidencia de erosión en los canales e identificar fuentes de sedimentos	Anualmente o después de una tormenta severa
	Inspeccione las entradas de los drenes para que garanticen el escurrimiento no restringido de las capas de desagüe y el transporte de los sistemas de drenaje del techo.	Anualmente o después de una tormenta severa
	Inspeccione la capa inferior del techo en busca de evidencia de fugas	Anualmente o después de una tormenta severa

Fuente: (CIRIA 2007)

Tabla 65 Aspectos de diseño de techos ajardinados

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los techos verdes tienden a absorber la mayoría de la lluvia que se recibe durante un evento normal, sin embargo, existe la necesidad de descargar los excesos de agua en eventos extremos, por lo tanto se deben considerar las condiciones de diseño para techos estándares o normales que se requiera en la normatividad vigente.</li> <li>- La estructura del techo debe tener la capacidad necesaria para soportar el peso del techo en condiciones de saturación.</li> <li>- Se deben diseñar salidas múltiples para evitar obstrucciones</li> <li>- Se deben utilizar suelos ligeros y vegetación apropiada.</li> </ul>
---

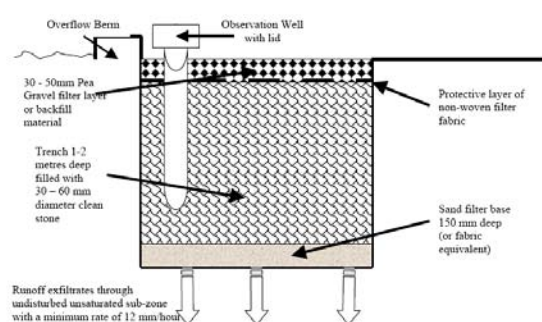
Fuente: (CIRIA 2007; EPA 2004)

### Drenes y zanjas filtrantes

#### ❖ *Zanjas de infiltración*

Las zanjas de infiltración son excavaciones lineales, poco profundas rellenas de un material grueso. Esta es una estructura que intercepta la lámina de agua de superficies como vías, avenidas, parqueaderos. Estas son usadas generalmente para el drenaje de pequeñas áreas de menos de 4/5 ha donde las lagunas no son posibles. Estas zanjas proporcionan un almacenamiento de agua que retiene el agua de la escorrentía y que puede infiltrarse en una capa del suelo. En el caso de áreas

de desarrollo, las zanjas de infiltraci3n ayudan a minimizar el cambio hidrol3gico antes del desarrollo y mantener el flujo de recarga (Cereve et al. 2010; CIRIA 2007).



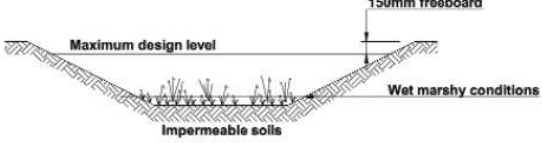
Fuente: (Cereve et al. 2010)

### ❖ Zanjas verdes

Una zanja verde es un m3todo de infiltraci3n/filtraci3n que se utiliza generalmente para proporcionar tratamiento. Las zanjas verdes son t3picamente de vegetaci3n superficial, canales de conducci3n dise1ados para que la elevaci3n del fondo este por encima de la l3mina de agua de tal forma que permita el escurrimiento o infiltraci3n en las aguas subterr3neas. La vegetaci3n o c3sped que cubre los taludes laterales, y el fondo del canal recogen y transmiten lentamente el escurrimiento a los puntos de descarga aguas en la parte inferior. Las zanjas pueden ser protegidas con geotextil y cubiertas con tierra sembrada de c3sped, en una zona ajardinada (Woods-Ballard et al. 2007), la Tabla 67 presenta los tipos y las secciones.

Tabla 67 Tipos de zanjas verdes

Tipo	Descripci3n	Esquematzaci3n
<b>Zanja de conducci3n est3ndar</b>	Las zanjas de conducci3n son canales vegetados extensos poco profundos. Son efectivas en v3as que direccionan y converge el escurrimiento a otra superficie para el manejo del agua. Pueden ser dise1adas acorde a la filtraci3n o detenci3n, dependiendo del nivel del flujo y la profundidad apropiada de almacenamiento del sitio. Aptos para peque1as 3reas de drenaje, en algunos casos requieren revestimiento para prevenir la infiltraci3n	
<b>Zanja seca</b>	Canal de conducci3n vegetado, su dise1o incluye un lecho filtrante que prepara el suelo, recubri3ndolo con un sistema de drenaje. Este provee un tratamiento adicional y una capacidad de conducci3n debajo de la base de la zanja. Como permanece seca la mayor3a del tiempo, no se empantana en el periodo humedo.	

<b>Zanja húmeda</b>	Este sistema es equivalente a la zanja de conducción, pero se diseña para mantener la humedad y las condiciones pantanosas en la base para reforzar el proceso de tratamiento. Esto se puede alcanzar usando geomembranas, donde la capa del suelo tiene bajo drenaje y la tabla de agua es alta.	
---------------------	---	--

Fuente: (CIRIA 2007)



Tabla 68 Ventajas y desventajas en gestión de zanjas verdes

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promueve la recarga de aguas subterráneas.</li> <li>- Reduce las inundaciones aguas abajo y protege las orillas.</li> <li>- Preserva el balance natural del agua del lugar.</li> <li>- Proporciona un alto grado de control de la contaminación de la escorrentía cuando el sistema está adecuadamente diseñado y mantenido.</li> <li>- Reduce el tamaño y el costo de las instalaciones de control aguas abajo.</li> <li>- Se utiliza donde los espacios son reducidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenta altas tasas de falla debido a la ubicación incorrecta, diseños, operación y mantenimiento.</li> <li>- Generalmente su uso es restringido a pequeñas áreas de drenaje</li> <li>- Existe un ligero riesgo de contaminación del agua subterránea, dependiendo de las condiciones del suelo y la susceptibilidad del acuífero.</li> <li>- Requiere mantenimiento frecuente.</li> </ul>

Fuente: (Cereve et al. 2010; CIRIA 2007; EPA 2004)

Tabla 69 Aspectos de diseño a tener en cuenta de zanjas verdes

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las zanjas de infiltración deben estar construidas con pretratamiento.</li> <li>- Cuando se produce encharcamiento en la superficie o la zanja, inmediatamente se requiere mantenimiento correctivo.</li> <li>- La cantidad de agua que cae en el sector debe de ser menor o igual a la capacidad instalada de la zanja.</li> <li>- En las zonas de ladera el espaciamiento entre zanjas debe ser tal que permita el control de la erosión.</li> <li>- Las características técnicas de las zanjas de infiltración son función de las condiciones de suelo y clima de la zona donde se pretenden implementar.</li> <li>- La profundidad de las zanjas estará en función de la topografía del terreno y no deberá ser menor a 0,5 m.</li> <li>- El ancho de las zanjas estará en función de la capacidad de infiltración de los terrenos y podrá variar entre un mínimo de 0,40 m, a un máximo de 0,90 m.</li> </ul>
---

Fuente: (Cereve et al. 2010; CIRIA 2007; EPA 2004)

## Superficies permeables

### ❖ Drenes filtrantes

Los drenes filtrantes son zanjas recubiertas de geotextil y rellenas de grava, dentro de las cuales circula la escorrentía que proviene directamente de las superficies de drenaje o de una tubería de aportación, un corte se presenta en la Figura 56. La grava permite una filtración de la escorrentía, atrapando materia orgánica, metales pesados y residuos grasos, los cuales son descompuestos por las bacterias al cabo del tiempo. La velocidad del agua es lenta por lo que existe infiltración a través del geotextil, de modo que en algunos drenes no es necesario dirigir el agua hasta el punto de vertido pues al cabo de una cierta longitud todo el agua se ha infiltrado (Castro et al. 2005).

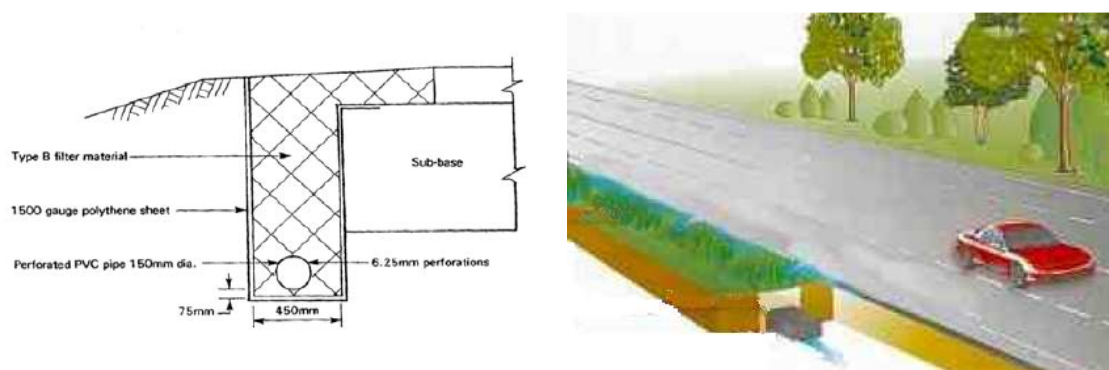


Figura 56 Sección transversal dren filtrante  
Fuente: (Cereve et al. 2010)

Tiene un propósito dual: recolección del agua del escurrimiento superficial y el control del nivel del agua en la vía. Sin embargo este presenta altos costos ya que requiere mantenimiento regular y daño de la cimentación y estructura del pavimento cuando el dren se empieza a obstruir (Cereve et al. 2010).

Tabla 70 Ventajas y desventajas en drenes filtrantes

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los medios de filtrado pueden ser utilizados en sitios de alta densidad urbana con pequeñas áreas de drenaje que son completamente impermeables,</li> <li>- Pueden ser aplicables a muchas áreas que son difíciles de adaptar debido a las limitaciones de espacio y se utilizan en los sitios donde el suelo o las aguas subterráneas no soportan mecanismos de infiltración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se requiere tratamiento previo para impedir que los medios de filtro se obstruya.</li> <li>- No se aplica en las zonas altas de las capas freáticas y no debe ser usado en áreas donde las cargas pesadas de sedimentos que se espera o en áreas tributarias que no se ha estabilizado por completo.</li> </ul>

Fuente: (EPA 2004)

### ❖ Pavimentos porosos

Las superficies o pavimentos permeables son la alternativa a los pavimentos urbanos convencionales de asfalto, hormigón, adoquines o baldosas. Pueden estar constituidos por estos mismos materiales, pero de tal manera que permitan la filtración del agua a través suyo. Conviene diferenciar entre superficies porosas y superficies permeables. Las superficies porosas pueden ser superficies granulares o de tierra vegetal reforzadas o confinadas, superficies de adoquines de hormigón poroso o pavimentos continuos de mezcla bituminosa porosa, hormigón poroso de cemento o de resina. Por su parte, las superficies permeables están constituidas por elementos impermeables colocados en una disposición permeable: adoquines o pavimentos de hormigón con huecos o separaciones libres o rellenas de árido o tierra vegetal de manera que se logre una determinada permeabilidad (Castro et al. 2005).



Figura 57 Superficies permeables

Tabla 71 Ventajas y desventajas en pavimentos porosos

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción del escurrimiento superficial</li> <li>- Aumenta la recarga de los acuíferos locales y el caudal base de los ríos</li> <li>- Remoción eficiente de los sólidos suspendidos, microorganismos patógenos, desechos orgánicos y algunos metales y nutrientes solubles.</li> <li>- Se adapta a la mayoría de los climas</li> <li>- Menor uso de tuberías y cunetas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No es apropiado para lugares con alto tráfico</li> <li>- El área de drenaje debe ser menor a tres veces su tamaño</li> <li>- No es recomendable cuando los niveles freáticos o estratos impermeables están a menos de 60 a 120 cm.</li> <li>- Si no se realiza un buen mantenimiento, el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas aumenta.</li> <li>- Si la estructura está mal diseñada, tiende a colmatarse por la entrada de sedimentos durante y después de la construcción.</li> <li>- Se debe realizar una limpieza con presión y aspiración de la carpeta de rodadura para eliminar los materiales colmatantes.</li> </ul>

Fuente: (Cereve et al. 2010; CIRIA 2007; EPA 2004)

Tabla 72 Aspectos de diseño a tener en pavimentos porosos

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudio de factibilidad</li> <li>- Estudios complementarios</li> <li>- Elección de materiales de los pavimentos</li> <li>- Dimensionamiento mecánico</li> <li>- Elección de diversos equipos para la construcción</li> <li>- Estudio hidráulico.</li> </ul>
--

Fuente: (Cereve et al. 2010; CIRIA 2007; EPA 2004)

### 8.3.2 Pre-selección de estrategias de minimización y prevención

Las tecnologías que apoyan el control de la contaminación por aguas de drenaje, tienen injerencia en distintos niveles de planificación, es decir se pueden manejar en función de las áreas de drenaje.

Estas opciones tecnológicas pueden ser aplicadas en serie, o de forma individual y van a depender de las características del área de planificación, por lo cual no se puede definir una o unas tecnologías en una zona con la dimensión del área de expansión, ya que dentro de esta se encuentran diferentes formas de planificación y características ambientales locales diferentes, en particular las relacionadas con la calidad del suelo.

La sub-área de estudio a la cual se aplicó el proceso de selección de SUDS es el plan parcial Bochalema. Dentro de esta área acorde a la distribución urbana, se realizó una selección en el área de sesión de zona verde. La localización del plan parcial y de las áreas de planificación se presenta en la (Figura 58)



Figura 58. Localización plan parcial Bochalema en el área de expansión

Las tecnologías a las cuales se les realizará el proceso de selección son las que se listan a continuación:

- Sistemas de detención
- Lagunas artificiales y de retención
- Humedales construidos
- Tanques de sedimentación
- Techos ajardinados
- Zanjas de infiltración
- Zanjas verdes
- Drenes filtrantes
- Pavimentos porosos

#### 8.3.2.1 Características de uso del suelo

La característica de uso de suelo del área aferente se consideró como de baja densidad, siendo todas las tecnologías consideradas aptas para este tipo de uso del suelo.

#### 8.3.2.2 Características del sitio

El área de drenaje considerada es superior a 2 Ha por lo cual no son viables las zanjas verdes y los drenes filtrantes. En relación a la cabeza hidráulica disponible, no es viable la adopción de zanjas de infiltración. En función del espacio, las demás tecnologías son consideradas viables. No se consideraron los techos ajardinados y los pavimentos porosos, ya que estas son tecnologías específicas para cubiertas y vías, y el área aferente cuenta con una gran zona verde.

### 8.3.2.3 Características del área de drenaje

Considerando que el área de drenaje es superior a 2 ha, que la fuente receptora es sensible a la calidad del agua y que los usos del suelo abarcan uso residencial con vías locales, se recomienda el uso de mínimo dos unidades de tratamiento.

### 8.3.2.4 Requerimiento de calidad y cantidad

En función de la calidad, el modelo de selección aborda indicadores como:

- Sólidos suspendido
- Metales pesados
- Nutrientes
- Bacterias
- Sólidos finos y contaminantes disueltos

En el contexto local, las aguas de escorrentía no son monitoreadas, sin embargo un parámetro de relevancia que se ha medido esporádicamente son los sólidos suspendidos asociado al impacto que se ha encontrado en las fuentes receptoras, en particular por los efectos de primer lavado, por lo cual se utilizará este indicador en esta fase de selección. Los otros indicadores es complejo su seguimiento por los costos que implica por lo cual no son considerados.

En relación a la cantidad se verificarán las tecnologías que contribuyan en la reducción de los volúmenes de escurrimiento.

La Tabla 73 presenta como alto, medio o baja el impacto de las tecnologías en el indicador de remoción de sólidos suspendidos totales y reducción del volumen de escurrimiento.

Grupo SUDS	Tecnología	Potencial de tratamiento de calidad de agua	Control hidráulico
		Remoción de sólidos suspendidos totales	Reducción del volumen de escurrimiento
Retención	Lagunas artificiales y de retención	H	L
	Tanques de sedimentación	L	L
Humedales	Humedales construidos	H	L
Detención	Sistemas de detención	M	L

H: alto

L: bajo

M: medio

### 8.3.2.5 Requerimiento de amenidad social y ambiental.

En este aparte se consideran aspectos importantes para garantizar la sostenibilidad de los sistemas,

la Tabla 74 presenta como alto, medio o baja las necesidades de mantenimiento, costos y el potencial de creación de hábitat.

Grupo SUDS	Tecnología	Mantenimiento	Costos	Potencial de creación de hábitat
Retención	Lagunas artificiales y de retención	M	M	H
	Tanques de sedimentación	L	M	L
Humedales	Humedales construidos	H	H	H
Detención	Sistemas de detención	L	L	M

H: alto

L: bajo

M: medio

Para la selección se asignó puntajes en cada uno de los criterios, siendo 10 a la más alta categoría 5 a la categoría media y 3 a la categoría baja, en relación si el criterio se quiere maximizar o minimizar. La Tabla 75, presenta los puntajes dados a cada categoría.

Grupo SUDS	Tecnología	Remoción de sólidos suspendidos totales	Reducción del volumen de escurrimiento	Mantenimiento	Costos	Potencial de creación de hábitat	Puntaje total
Retención	Lagunas artificiales y de retención	10	3	5	5	10	38
	Tanques de sedimentación	3	3	10	5	3	27
Humedales	Humedales construidos	10	3	3	3	10	34
Detención	Sistemas de detención	5	3	10	10	5	38

De la tabla 75, se encuentra que las tecnologías con mayor puntaje son las lagunas y los sistemas de detención.

## 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1 Conclusiones

Al analizar opciones de minimización y prevención viables de aplicar en la zona de expansión, considerando aspectos económicos, técnicos, sociales y ambientales, se encuentra que es factible la implementación de aparatos de bajo consumo y la incorporación de fuentes alternas como las aguas grises y las aguas lluvias. La aplicación de estas estrategias implica una disminución del impacto generado por esta área a los recursos hídricos asociado a la menor demanda de agua potable y a la reducción de aporte de carga contaminante implicando efectos positivos al ambiente.

Las estrategias de minimización y prevención en la zona de expansión representan beneficios económicos, ya que al analizar la relación costo beneficio se encuentra ahorros considerables en pago de servicios públicos por los usuarios y en disminución del requerimiento de inversión inicial en redes externas de acueducto, alcantarillado y sistemas de bombeo y tratamiento de aguas residuales, haciendo económicamente factible la implementación de esta propuesta.

### 9.2 Recomendaciones

Se debe considerar que la implementación de estrategias de minimización y prevención, puede generar aún mayor viabilidad si se considera que los estimativos de costos y beneficios se realizaron a nivel perfil. Además es necesario llevar a cabo la evaluación socio económica, que vincule otros beneficios y servicios eco sistémicos.

## 10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Jayyousi, O. R. (2003). "Greywater reuse: towards sustainable water management." *Desalination*, 156(1-3), 181-192.
- Ballén, J. A., Galarza, M. Á., and Ortiz, R. O. (2006a). "Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia." In: *VI SEREA Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água*, João Pessoa (Brasil).
- Ballén, J. A., Galarza, M. Á., and Ortiz, R. O. (2006b). "Sistemas de aprovechamiento de agua lluvia para vivienda urbana." In: *VI SEREA - Seminário iberoamericano sobre sistemas de abastecimento urbano de agua*, João Pessoa-Brasil.
- Barco, J. M. M. (2009). "Evolución y cambio en el abastecimiento urbano: del sistema clásico al moderno."   
<[http://74.125.155.132/scholar?q=cache:CYYSVbYrF\\_gJ:scholar.google.com/+Evoluci%C3%B3n+y+cambio+en+el+abastecimiento+urbano:+del+sistema+cl%C3%A1sico+al+moderno&hl=es&as\\_sdt=2000](http://74.125.155.132/scholar?q=cache:CYYSVbYrF_gJ:scholar.google.com/+Evoluci%C3%B3n+y+cambio+en+el+abastecimiento+urbano:+del+sistema+cl%C3%A1sico+al+moderno&hl=es&as_sdt=2000)>.
- Berger-biotechnik. (2010). "Water saving WC." <<http://www.berger-biotechnik.com/assets/s2dmain.html?http://www.berger-biotechnik.com/>>.
- Bernal, D. P., Cardona, D. A., Galvis, A., and Peña, M. R. (2003). "Guía de Selección de Tecnología para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas por Medios Naturales." In: *Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales*, Universidad del Valle/Instituto CINARA, Cali, Colombia, 19-27.
- Birks, R., and Hills, S. (2007). "Characterisation of Indicator Organisms and Pathogens in Domestic Greywater for Recycling." *Environmental Monitoring and Assessment*, 129(1), 61-69.
- Bithas, K. (2008). "The sustainable residential water use: Sustainability, efficiency and social equity. The European experience." *Ecological Economics*, 68(1-2), 221-229.
- Braden, J. B., and van Ierland, E. C. (1999). "Balancing: The economic approach to sustainable water management." *Water Science and Technology*, 39(5), 17-23.
- Cardona, M. M. (2007). "Minimización de Residuos: una política de gestión ambiental empresarial." In: *P+L*.
- Castro, D., Rodríguez, J., and Rodríguez, J. (2005). "Sistemas urbanos de drenaje sostenible " In: *Interciencia Revista de ciencia y tecnología*, redalyc, Venezuela.
- CEPIS, OPS, and OMS. (2001). "Guía de diseño para captación de agua lluvia." Lima-Perú.
- CEPIS, OPS, and OMS. (2003). "Especificaciones técnicas captación de agua de lluvia para consumo humano." Lima-Perú.
- Cereve, Tauw BV, Chalmers University of Technology, Technical University of Denmark, Middlesex University, National Technical University of Athens, DHI Hydroinform, Sieker GmbH, Water Pollution Unit at Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, and Lulea University of Technology. (2010). "DayWater "Adaptive Decision Support System for Stormwater Pollution Control",."
- CIRIA. (2007). *The SUDS manual*, CIRIA, London.
- Congreso de Colombia. (1997). "Ley 373 de 1997. Programa para el uso eficiente y ahorro del agua." Congreso de Colombia, ed., Bogotá D.C., Colombia. .

- Coombes, P., and Kuczera, G. (2002). "Integrated Urban Water Cycle Management: moving towards systems understanding." In: *Second National Conference on Water Sensitive Urban*, Brisbane.
- C3rdova, A. (2001). "Programas de Saneamiento Seco a Gran Escala. Observaciones y Recomendaciones Preliminares de Experiencias Urbanas en M3xico. Informe de Campo de la Investigaci3n Doctoral Actividades y Resultados de Agosto 1999 - Diciembre 2000." C3rdova, A., Itaca, New York,.
- C3rdova, A., and Knuth, B. A. (2003). "Implementaci3n de saneamiento seco urbano a gran escala: una agenda para la acci3n." In: *2o Simposio internacional sobre saneamiento ecol3gico*, , IWA-GTZ.
- Cheng, C.-L. (2003). "Evaluating water conservation measures for Green Building in Taiwan." *Building and Environment*, 38(2), 369-379.
- Chernicharo, C. A. L. (2001). *P3s-tratamiento de efluentes de reatores anaer3bios*, FINEP, Belo Horizonte, Brasil.
- Dallas, S., Scheffe, B., and Ho, G. (2004). "Reedbeds for greywater treatment--case study in Santa Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America." *Ecological Engineering*, 23(1), 55-61.
- DAPM. (2000). "Plan de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Santiago de Cali." Departamento Administrativo de Planeaci3n Municipal Alcaldía Municipal, Cali, Colombia.
- DAPM. (2008). "Cali en cifras." Departamento Administrativo de Planeaci3n Alcaldía de Santiago de Cali, ed., Impresora Feriva S.A., Cali.
- Den Boer, J., Den Boer, E., and Jager, J. (2007). "LCA-IWM: A decision support tool for sustainability assessment of waste management systems." *Waste Management*, 27, 1032 - 1045.
- DEP, and CZM. (1997). "Stormwater technical Handbook." In: *Stormwater management*, Department of environmental protection-Office of coastal zone management.
- El espectador. (2009). "ABC para el ahorro de agua." In: *El espectador*, Bogotá.
- EMCALI. (2007a). "Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (2007-2016)." Empresas Municipales de Cali, Cali, Colombia.
- EMCALI. (2007b). "Registros hist3ricos de operaci3n WWTP Cañaveralejo."
- EMCALI, and Consorcio Ingesam-Hidroccidente. (2009). "Estudios y diseños de las redes de acueducto y alcantarillado de la primera etapa de expansi3n del corredor Cali-Jamundí." Cali, Colombia.
- EMCALI, and Hidroccidente. (2006). "Estudio de Alternativas de Dotaci3n de Los Servicios P3blicos de Acueducto, Alcantarillado y Complementario de Alcantarillado En La Zona de Expansi3n de La Ciudad de Cali Denominada "Corredor Cali-Jamundí"." Cali, Colombia.
- EPA. (1999). *Storm water technology fact sheet wet detention ponds*, Washington.
- EPA. (2004). "The use of Best Management Practices (BMPs) in urban watersheds." National risk management research laboratory office of research and development, Cincinnati, Ohio.
- Escriu, J., and V3zquez, R. (Year). "El papel de la eficiencia econ3mica en la gesti3n sostenible del Agua." *Simposium Internacional: La nueva pol3tica del agua*, AQUAMAC, INTERREG IIIB, Barcelona, España.
- Estevan, A. (2000). "Planes integrales de gesti3n de la demanda." In: *La eficiencia del agua en las ciudades*.

- Estevan, A. E. (2005). "La reutilización en el ciclo global del agua: una aproximación al concepto de ciclo de vida de producto aplicado al agua." In: *Jornadas Técnicas: La integración del agua regenerada en la gestión de los recursos*, Lloret de Mar, Costa Brava, Girona.
- EU-WI. (2003). "Proposal Of The Conference Of Ibero-American Water Directors (Cancun, 24-25 September 2003) To The Iii Forum Of Ibero-American Environment Ministers." E. U. W. I.-L. A. Component, ed., Conference of Ibero-American Water Directors, Cancun, Mexico, 62.
- Exall, K., Marsalek, J., and Schaefer, K. (2007). *WATER REUSE IN CANADA: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES*, Springer Netherlands Ed., Springer.
- Franken, M., ed. (2007). *Gestión de aguas, conceptos para el nuevo milenio*, Primera Edición Ed., Plural Editores, Bolivia.
- Fresno, D. C., Bayón, J. R., and Hernández, J. R. (2005). "Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)." In: *Interciencia*, Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, Caracas, Venezuela, 255-260.
- Galarza, S. (2005). "Estudio de viabilidad técnica de los sistemas urbanos de drenaje sostenible para las condiciones tropicales de Colombia," Pontificia Universidad Javeriana, Cali.
- Galvis, A., and Vargas, V. (2004). "Selección de tecnología en el tratamiento de agua para consumo humano." In: *Simposio internacional de tecnologías alternativas en agua y saneamiento para pequeñas localidades*, Lima-Perú.
- Gandini, M., Perez, M. A., and Madera, C. A. (2005). "Política de contaminación hídrica en Colombia. Elementos de discusión asociados a objetivos de tratamiento." In: *I Conferencia latinoamericana en lagunas de estabilización y reuso*, Instituto Cinara, ed., Cali, Colombia.
- GBA. (2010). "Econnovation." <<http://www.globizall.com/econnovation>> (Abril 7, 2010).
- Ghisi, E., and Mengotti de Oliveira, S. (2007). "Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil." *Building and Environment*, 42, 1731-1742.
- Gikas, P., and Tchobanoglous, G. (2009). "Sustainable use of water in the Aegean Islands." *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2601-2611.
- Gleick, P. H. (2000). "El Cambio de Paradigma del Agua. Una Mirada al Desarrollo de los Recursos Hidráulicos en el Siglo Veintiuno." *Water International Journal*, 25(1), 127-138.
- Gómez, E. D., Pujol, D. S., Ragué, X. M., Vila, J. M., and Huelin, S. (2009). "Tipologías de vivienda y consumo de agua en la región metropolitana de Barcelona." <[congreso.us.es/ciberico/archivos\\_word/94b.doc](http://congreso.us.es/ciberico/archivos_word/94b.doc)> (Febrero de 2010).
- Gómez, E. G. (2009). "¿Combinar o separar? Una discusión con un siglo de antigüedad y de gran actualidad para los bogotanos." <[http://74.125.155.132/scholar?q=cache:YU6LYaeVt34J:scholar.google.com/+eugenio+qiraldo+gomez+combinar+o+separara&hl=es&as\\_sdt=2000](http://74.125.155.132/scholar?q=cache:YU6LYaeVt34J:scholar.google.com/+eugenio+qiraldo+gomez+combinar+o+separara&hl=es&as_sdt=2000)> (Marzo 15 de 2010).
- Grace, M. V. (2004). *Australian water conservation and reuse research program, integrated urban water management, a review of current Australian practice*, AWA, CSIRO, Urban Water "systems & technologies", Brunswick (Victoria).
- Gray, N. F. (2008). *Drinking water quality: problems and solutions*, 2 Ed., Cambridge University, Reino Unido (Inglaterra)
- Gross, A., Kaplan, D., and Baker, K. (2007). "Removal of chemical and microbiological contaminants from domestic greywater using a recycled vertical flow bioreactor (RVFB)." *Ecological Engineering*, 31(2), 107-114.

- GWP, and TAC. (2000). "Manejo integrado de recursos hídricos." Global Water Partnership, Estocolmo, Suecia.
- Hajkowicz, S., and Collins, K. (2007). "A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management." *Water Resour Manage*, 21, 1553-1566.
- Halalsheh, M., Dalahmeh, S., Sayed, M., Suleiman, W., Shareef, M., Mansour, M., and Safi, M. (2008). "Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan." *Bioresource Technology*, 99(14), 6635-6641.
- Holt, P. K. (2005). "Decision making framework for selecting sustainable wastewater reuse treatment technologies." In: *Ecological Engineering*, Australia.
- IDEAM. (2008). "Estudio nacional del agua." Bogotá.
- Jonker, L. (2002). "Integrated water resources management: theory, practice, cases." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 27(11-22), 719-720.
- Kvarnström, E., Emilsson, K., Richert-Stintzing, A., Johansson, M., Jönsson, J., Pettersens, E., Schöning, C., Christensen, J., Hellström, D., Qvarnström, J., Ridderstolpe, P., and Drangert, J. O. (2006). *Desviación de orina: Un paso al saneamiento sustentable*, Stockholm Environment Institute and ECOSANRES, Estocolmo, Suecia.
- Langergraber, G., and Muellegger, E. (2005). "Ecological Sanitation--a way to solve global sanitation problems?" *Environment International*, 31(3), 433-444.
- Li, F., Wichmann, K., and Otterpohl, R. (2009). "Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses." *Science of The Total Environment*, 407(11), 3439-3449.
- Liu, S., Butler, D., Memon, F. A., Makropoulos, C., Avery, L., and Jefferson, B. (2010). "Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system." *Water Research*, 44(1), 267-277.
- Londoño, R. D., and Parra, Y. (2007). "Manejo de vertimientos y desechos en Colombia, una visión general." In: *Épsilon*, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 16.
- Makropoulos, C. K., Memon, F. A., Shirley-Smith, C., and Butler, D. (2008a). "Futures: an exploration of scenarios for sustainable urban water management." *Water Policy*, 10(4).
- Makropoulos, C. K., Natsis, K., Liu, S., Mittas, K., and Butler, D. (2008b). "Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management." *Environmental Modelling & Software*, 23(12), 1448-1460.
- Maksimovic, C., and Tejada-Guibert, J. A. (2001). *Frontiers in urban water management deadlock or hope*, IWA Publishing, London, UK.
- Marsalek, J., Jiménez-Cisneros, B. E., Malmquist, P. A., Karamouz, M., Goldenfum, J., and Chocat, B. (2006). *Urban Water Cycle Processes and Interactions*, UNESCO/IHP, Paris, France.
- MAVDT. (2004). "Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia." Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial, ed.
- MAVDT. (Year). "Viceministerio de agua y saneamiento." *Latinosam 2007 Conferencia latinoamericana de saneamiento*, Cali, Colombia.
- Mays, L. (2001). *Storm water collection systems design handbook*, Mc Graw Hill, Estados Unidos.
- Mejia, F. J., Isaza, P. A., Aguirre, S., and Saldarriaga, C. A. (2004). "Reutilización de aguas domésticas." In: *XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología* Armenia (Colombia).
- MInambiente. (2009). "Resolución CRA 485 de 2009. Metodología tarifaria para los prestadores de servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado de 2500 o más suscriptores." Comisión reguladora de agua potable, ed., Bogotá.

- Ministerio de vivienda y urbanismo. (1996). *Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Guía de Diseño*, Santiago de Chile.
- Mitchell, V. (2006). "Applying Integrated Urban Water Management Concepts: A Review of Australian Experience." *Environmental Management*, 37(5), 589-605.
- Morel, A., Schertenielb, R., and Zürbrugg, C. (2003). "Alternative Environmental Sanitation Approaches in Developing Countries." *EAWAG*, 57, 18-20.
- Nhapi, I., and Gijzen, H. J. (2005). "A 3-step strategic approach to sustainable wastewater management." *Water SA*, 31(1), 133-140.
- Nhapi, I., and Hoko, Z. (Year). "A cleaner production approach to urban water management: potential for application in Harare, Zimbabwe." Pergamon-Elsevier Science Ltd, 1281-1289.
- Nhapi, I., and Hoko, Z. (2004b). "A cleaner production approach to urban water management: potential for application in Harare, Zimbabwe." Pergamon-Elsevier Science Ltd, 1281-1289.
- Nolde, E. (2000). "Greywater reuse term systems for toilet flushing in multi-storey buildings: over ten years experience in berlin. ." *Urban Water*, 1(4), 275-284.
- Ochoa, M. d. P. (2007). "Estudio preliminar de caracterización y cuantificación de las aguas grises en una residencia de Bogotá," Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.
- Ottoson, J., and Stenström, T. A. (2003). "Faecal contamination of greywater and associated microbial risks." *Water Research*, 37(3), 645-655.
- Perales, S., and Doménech, I. (2007). "Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia."
- PNUD. (2009). "Objetivos de desarrollo del milenio." <<http://odm.pnud.org.co/odm7.html>> (Agosto 13, 2009).
- PNUMA. (2006). "Acuerdos ambientales y producción más limpia preguntas y respuestas." Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, UNEP, División Tecnología, Industria & Economía en cooperación con InWEnt.
- Puplampu, E., and Siebel, M. (2005). "Minimisation of water use in a Ghanaian brewery: effects of personnel practices." *Journal of Cleaner Production*, 13(12), 1139-1143.
- Rakelmann, U. V. (2003). "Mayor desarrollo de sistemas de eliminación de aguas residuales en zonas conurbanas." In: *2o Simposio internacional sobre saneamiento ecológico*, , GTZ.
- Restrepo, I. (2004). "Tendencias Mundiales en la Gestión de Recursos Hídricos: Desafíos para la Ingeniería del Agua." *Ingeniería y Competitividad. Revista de Divulgación del desarrollo científico y tecnológico*, 6(1), 63-71.
- Restrepo, I. (2008). "Gestión del agua en asentamientos nucleados." In: *Seminario taller-Nuevos paradigmas en la gestión integral del agua en zonas urbanas*, Cali, Colombia.
- Ridderstolpe, P. (2004). *Introduction of greywater management*, Stockholm Environment Institute and ECOSANRES, Estocolmo, Suecia.
- Romero, C. (1997). *Análisis de las decisiones multicriterio*, Isdefe, Madrid, España.
- Roy, A. H., Wenger, S. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., Shuster, W. D., Thurston, H. W., and Brown, R. R. (2008). "Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States." *Environmental Management*, 42(2), 344-359.
- Sánchez, L. D., and Caicedo, E. Y. (2003). "Uso del agua de lluvia en la Bocana, Buenaventura." In: *Agua 2003. Conferencia internacional usos múltiples del agua: para la vida y el desarrollo sostenible*, Cartagena de Indias, Colombia.

- Sánchez, L. D., and Sánchez, A. (2004). "Uso eficiente del agua." IRC International Water and Sanitation Centre, Delft, Países Bajos.
- Savenije, H., and Van der Zaag, P. (2002). "Water as an Economic Good and Demand Management Paradigms with Pitfalls." *Water International*, 27(1).
- Siebel, M. A., and Gijzen, H. J. (2002). "Application of Cleaner Production concepts in Urban Water Management." In: *Environmental Technology and Management Seminar*, Institute Technology Bandung/Environmental Engineering Department, Bandung, Indonesia.
- Sierra, J. F. (2006). "Tratamiento y reutilización de aguas grises en proyectos de vivienda de interés social a partir de humedales artificiales." Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.
- Soares, L. C. R., Griesinger, M. O. J., Dachs, N. W., Bittner, M. A., and Tavares, S. (2002). "Inequities in access to and use of drinking water services in Latin America and the Caribbean." *Pan American Journal Public Health*, 11(6), 386-396.
- SUI. (2009). "Consumos facturados en m3 por municipio reportados por Emcali." <[http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=acu\\_com\\_107](http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=acu_com_107)>.
- Sutherland, K. (2008). "Wastewater filtration: A future for grey water recycling." *Filtration & Separation*, 45(3), 18-21.
- Texas Water Development Board. (2005). "The Texas manual on rainwater harvesting." Austin-Texas.
- Torres, A., ed. (2004). *Apuntes de clase sobre hidrología urbana*, Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Universidad del Valle - EIDENAR, and CVC. (2007). "Modelación de Escenarios para Definir los Planes de Control de Contaminación en la Cuenca del Río Cauca Tramo La Balsa – Anacaro." Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR), Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Cali, Colombia.
- Urbanas, B. (2002). *Best management practices. Urban storm drainage, criteria manual*, Estados Unidos.
- Vargas, J. W. (2007). "Decision Support System for Leachate Treatment Technologies," UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.
- Velásquez, J. S. (2009). "Estimación de la demanda de agua urbana residencial: factores que la afectan, conservación del recurso y planteamiento metodológico desde el ordenamiento territorial y las medidas de conservación," Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia.
- Vélez, C., Galvis, A., Ramírez, C., and Baena, L. (2006). "Cauca River Water Quality Model Hydroinformatics, Application in a Developing Country." In: *7th International Conference on Hydro-informatics HIC 2006*, Nice, Francia.
- Ward, F. A. (2007). "Decision support for water policy: a review of economic concepts and tools." *Water Policy*, 9(31).
- Winward, G. P., Avery, L. M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., and Jefferson, B. (2008). "A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse." *Ecological Engineering*, 32(2), 187-197.
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., and Shaffer, P. (2007). "Capítulo 9." In: *The SUDS manual*, CIRIA, London.

- WSP. (2007). "Saneamiento para el desarrollo ¿Como estamos en 21 países de América Latina y el Caribe?", Water and Sanitation Program.
- Zein, M. L. E. (2006). "Integrated Decision Support System for Wastewater Management: Case Study Egypt," Master of Science, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.
- Zeng, G., Jiang, R., Huang, G., Xu, M., and Li, J. (2007). "Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis." *Journal of Environmental Management*, 82(2), 250-259.