

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y  
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS (SCALL) COMO ALTERNATIVA DE  
AHORRO Y USO SOSTENIBLE DE AGUA POTABLE A NIVEL RESIDENCIAL EN  
LA CIUDAD BOGOTA.

MOISES ROJAS SALAZAR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO - QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA.

2016

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y  
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS (SCALL) COMO ALTERNATIVA DE  
AHORRO Y USO SOSTENIBLE DE AGUA POTABLE A NIVEL RESIDENCIAL EN  
LA CIUDAD BOGOTA.

MOISES ROJAS SALAZAR

Monografía para optar al título de Especialista en Ingeniería Ambiental

Director  
RICHARD DIAZ GUERRERO  
Especialista en Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO - QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA.

2016

A mi madre, a mi esposa y hermanas, dadoras y cuidadoras de vida y a la vida misma que me ha dado tanto. A mis pequeños retoños de bambú.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en general a todas las personas que han hecho posible materializar este trabajo, bien con pequeñas contribuciones ó con grandes ideas, ó simplemente inquiriendo sobre su avance; mi sentida gratitud para todos pues al fin y al cabo este pequeño proyecto ha discurrido en medio la cotidianidad con cada uno de ustedes.

En particular el autor agradece a:

El IDEAM, por el presto suministro de la información climatológica requerida.

A la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá por facilitar la información relacionada con el consumo histórico de agua potable.

El Ingeniero Richard Díaz, por sus aportes y apreciaciones como director de este proceso.

Al Ingeniero Gabriel Rojas, por su asesoría y colaboración en la parte de instalaciones hidráulicas, bombeo y filtrado

Al Maestro de obra Fernando Rojas, por sus aportes, ideas y trabajo físico en la resolución y materialización de cada una de las fases de implementación del proyecto.

Al profesor Libardo Rojas, por sus inquietudes y preguntas sobre la calidad del recurso captado.

Al Maestro, maestrante, Braulio Ruiz por su valioso acompañamiento en lo cotidiano.

## Tabla de contenido

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>1. CONSUMO URBANO DE AGUA Y CAMBIO CLIMATICO</b> .....	18
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	20
2.1 Captación en Europa .....	21
2.1.1 Alemania.....	21
2.1.2 Suiza.....	23
2.1.3 Reino Unido.....	23
2.2 Captación en Asia.....	24
2.2.1 China, Provincia de Gansu .....	24
2.2.2. Japón.....	24
2.2.3 India.....	25
2.2.4 Singapur .....	26
2.2.5 Bangladesh.....	28
2.3 Captación en Australia.....	28
2.4 Captación en África.....	29
2.4.1 Kenia .....	29
2.4.2 Zimbabue.....	30
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	34
3.1 USO DE AGUAS LLUVIAS Y CAMBIO CLIMATICO.....	34
3.2. SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUAS LLUVIAS (SCALL).....	36
3.2.1 Componentes de un SCALL .....	36
3.2.2 Factores de diseño. ....	37
3.3 Calidad y tratamiento de aguas lluvias para usos domésticos no potables .....	43
3.3.1 Sistemas de tratamiento conectados a los tanques de almacenamiento.....	45
3.3.2 Desvío del primer flujo. ....	46
3.3.3 Aplicación de tanques de sedimentación, desinfección y filtración de membrana para el tratamiento de agua de lluvia recolectada. ....	46
3.3.4 Filtración con carbón granular activado.....	47

3.3.5 Cloración. ....	47
3.3.6 Filtración lenta con arenas. ....	47
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>49</b>
4.1. Diseño y adecuación.....	49
4.1.1 Area efectiva de captación.....	49
4.1.2 Precipitación neta .....	52
4.1.3 Interceptor de primeras lluvias .....	55
4.1.4 Filtro de sedimentos.....	56
4.1.5 Demanda de agua potable para los usos de interés y peso relativo.....	56
4.1.6 Volumen tanque almacenamiento.....	58
4.1.7 Bombeo y alimentación de sanitarios.....	60
4.1.8 Sistema de válvulas. ....	60
4.2. Niveles potenciales de ahorro agua potable .....	60
4.3 Costos de implementación del sistema. ....	61
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>63</b>
<b>6. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>66</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>69</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro No. 1. Componentes y aspectos básicos de un SCALL .....pg35

Cuadro No 2. Porcentaje de participación de los usos del agua en el consumo total en las viviendas.....pg37

Cuadro No. 3 . Registro de promedios históricos bimensuales de consumo en la residencia, de acuerdo con datos suministrados por la E.A.A.B. entre el 8 de agosto de 2010 y el 20 de noviembre de 2015.....pg55

Cuadro No. 4. Costos de implementación del sistema por componentes.....pg61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la residencia y de las estaciones de trabajo.....pg. 51

## LISTA DE GRAFICOS

Gráfico No 1. Consumo per cápita de agua para usos domésticos por región, 1995 y 2025.....pg.18

Grafico No 2. Promedios Vs Probabilidad 75% de lluvias mensuales, estación Inem Kennedy para 17 años (1999-2015).....pg.52

Grafico No 3 .Precipitación neta esperada con un 75.% de probabilidad (cantidad de agua lluvia efectiva que entrará al sistema mensualmente).....pg.53

Gráficos Nos. 4 y 5. Consumo domiciliario mensual para descarga de sanitarios, lavado de ropa y otros usos, en metros cúbicos y peso porcentual respectivamente.....pg.56

Gráfico No. 6 Porcentajes mensuales de ahorro de agua potable para descarga de sanitarios y lavado de ropas para probabilidades de precipitación de 50 y 75%.....pg.60

## LISTA DE FOTOS

Fotografía No. 1 Mantenimiento de canales.....	pg. 49
Fotografías No. 2 y 3 Acondicionamiento cubierta (área de captación).....	pg. 50
Fotografía No. 4 Interceptor de primeras lluvias de la parte anterior de la cubierta.....	pg.54
Fotografía No.5. Planilla casera para registro diario de descargas por cada baño.....	pg. 56
Fotografía No. 6 Batería de tanques (cisterna) enterrados en el patio.....	pg.58

## GLOSARIO

**AGUA LLUVIA:** De acuerdo con el código de los recursos naturales, corresponde al agua proveniente de la precipitación pluvial.

**AGUA POTABLE:** Agua que ha pasado por un proceso físico químico para eliminar patógenos y contaminantes de modo que sea apta para el consumo humano directo, incluso sin ser filtrada o hervida.

**AREA EFECTIVA DE CAPTACION:** Se refiere a la superficie neta con que se cuenta para efecto de captar el agua lluvia, bien sea en un medio urbano o rural. Usualmente se expresa en metros cuadrados, y corresponde a la proyección horizontal del área disponible.

**CISTERNA:** es un depósito subterráneo que se utiliza para recoger y guardar agua de lluvia (aljibe) o procedente de un río o manantial.

**CONSUMO DESCARGA SANITARIO:** Corresponde a la cantidad de agua que emplea un sanitario en cada descarga, que para los estándares actuales es de entre 4 a 6 l. para inodoros ahorradores, y hasta mas de 8 l. para inodoros antiguos convencionales.

**COEFICIENTE DE ESCORRENTIA:** El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo (superficie), del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía.

**CONSUMO BASICO DE AGUA:** Término definido por la Comisión Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), 2010, como aquel consumo destinado a satisfacer las necesidades esenciales de consumo de las familias.

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

la infiltración del sistema suelo. Según la teoría de Horton, se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo; para este caso

corresponde a la superficie sobre la cual cae la precipitación que generalmente en ámbitos urbanos es la cubierta o techo de la edificación.

**INTERCEPTOR DE PRIMERAS LLUVIAS:** Mecanismo que permite desviar el primer flujo de agua de cada evento lluvioso, de modo que no llegue hasta el tanque de almacenamiento, mejorando con esto la calidad el agua almacenada ya que las primeras lluvias arrastran consigo la mayor parte de suciedad y contaminantes depositados sobre la superficie de captación.

**PRECIPITACION NETA:** Corresponde a la cantidad de lluvia efectiva más probable con que el sistema de recolección contará, una vez considerados factores como el coeficiente de escorrentía, salpique, vientos y probabilidad de un evento lluvioso determinado. Se establece con base en la precipitación mensual multianual para al menos 15 años.

**SCALL.** Sigla para Sistema(s) de Captación de Aguas Lluvias. Que constan básicamente de tres componentes, captación, conducción y almacenamiento, los cuales permiten, bien sea en áreas rurales o urbanas, contar con un volumen de agua lluvia para diversos usos, usos no potables, hasta consumo humano. Son en sí mismos un componente muy importante de los SUDS.

**SUDS.** Sigla para Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Consistentes básicamente en medidas y obras urbanas que buscan restablecer al máximo el ciclo hidrológico a su estado natural, i.e. antes de que el área fuera urbanizada.

**USOS DOMESTICOS NO POTABLES:** Hacen referencia a aquellas actividades domésticas que no necesariamente requieren agua potable para su realización, tales como lavado de zonas duras, riego de jardines, descarga de sanitarios y lavado de ropas.

## RESUMEN

TITULO: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS (SCALL) COMO ALTERNATIVA DE AHORRO Y USO SOSTENIBLE DE AGUA POTABLE A NIVEL RESIDENCIAL EN LA CIUDAD BOGOTA.\*

Autor: MOISES ROJAS SALAZAR\*\*

Palabras Clave: Agua lluvia, Agua potable, Cisterna, Usos no potables, Precipitación neta, Area de captación, Interceptor primeras lluvias.

Se centró el estudio, no solo en determinar los principales parámetros y componentes de diseño de un Sistema de Captación de Aguas Lluvias con el fin de reemplazar el uso de agua potable en actividades que no requieren tal grado de inocuidad en el líquido vital, como son la descarga de sanitarios y el lavado de ropa, sino también en efectuar las obras y labores necesarias para la implementación y puesta en funcionamiento del sistema.

Comprendió pues, la determinación de áreas efectivas de captación, determinación de la precipitación mensual neta esperada y registro de consumos de agua potable para los usos a suplir, así como la realización de actividades de implementación, que comprendieron desde la adecuación de superficies y protección de canales, hasta interceptación de bajantes y construcción de interceptores de primeras lluvias y excavación para ubicación de cisternas. Por último se implementó el sistema de bombeo y alimentación del sistema.

Finalmente se determinaron los niveles de ahorro de agua potable de acuerdo por un lado, con la precipitación neta esperada con una probabilidad de ocurrencia de entre 75% y 50% , y por otro con la disponibilidad espacial para el área efectiva de captación y la ubicación de cisternas en la unidad habitacional.

---

\*Trabajo de grado.

\*\*Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Richard Díaz Guerrero. Ingeniero Químico.

## ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A RESIDENTIAL RAIN WATER HARVEST SYSTEM (RWHS), AS ALTERNATIVE OF SAVING AND SUSTAINABLE USE OF POTABLE WATER, IN BOGOTA.\*

Autor: MOISES ROJAS SALAZAR\*\*

Keywords: Rain water, potable water, cistern, non-potable uses, net rainfall, catchment area, Interceptor first flux.

The study focused not only in determine the main parameters and design components of a Rainwater System Collection, order to replace the use of potable water in activities that do not require a high safety degree of the water, such as flushing toilets and washing clothes, but also perform works and tasks necessary for the setting up and operation of the system.

This implied, the determination of effective catchment areas, determining the net expected monthly rainfall and record consumption of drinking water for the uses to be supplied, and carry out implementation activities, such as the adequacy of surfaces and protection of rainfall gutters, downspouts to intercept and construction of interceptors of first flux, and location and excavation of cisterns. Also a pumping and feeding system was implemented.

Finally , it was determined the potential saving level of potable water , according to a expected rainfall range between 50 - 75% of probability, and the spacial availability for catchment and storage areas, on the habitational unit.

---

\*Degree Work.

\*\*Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Richard Díaz Guerrero. Ingeniero Químico

## INTRODUCCIÓN

El horizonte nada alentador del cambio climático global, la acentuada periodicidad de fenómenos climáticos extremos (niño y niña), y una creciente presión sobre las fuentes hídricas, que son cada vez más exiguas y de menor calidad, mientras que se espera un crecimiento poblacional inexorable sobre todo en las ciudades, que funcionan como verdaderos sumideros de energía y recursos, especialmente de agua potable, son aspectos preocupantes que deben comportar la toma de acciones en todos los niveles de la sociedad.

En este contexto, el presente trabajo ha pretendido ir más allá del ejercicio puramente académico de evaluar la factibilidad técnica y/o económica de coleccionar y emplear el agua de lluvia como sucedáneo del agua potable de la red pública, para usos domésticos que patentemente no demandan agua con niveles de inocuidad tales, que literalmente se puede beber del grifo; y se ha planteado entonces, además del diseño, también la implementación y funcionamiento óptimo de un sistema domiciliario para tal fin.

## 1. CONSUMO URBANO DE AGUA Y CAMBIO CLIMATICO.

Las ciudades modernas, incluso en el mundo desarrollado, no solo son las mayores fuentes de residuos sólidos y de efluentes negros, sino que en sí mismas, son verdaderos vórtices ó sumideros de recursos como alimento, energía y agua.

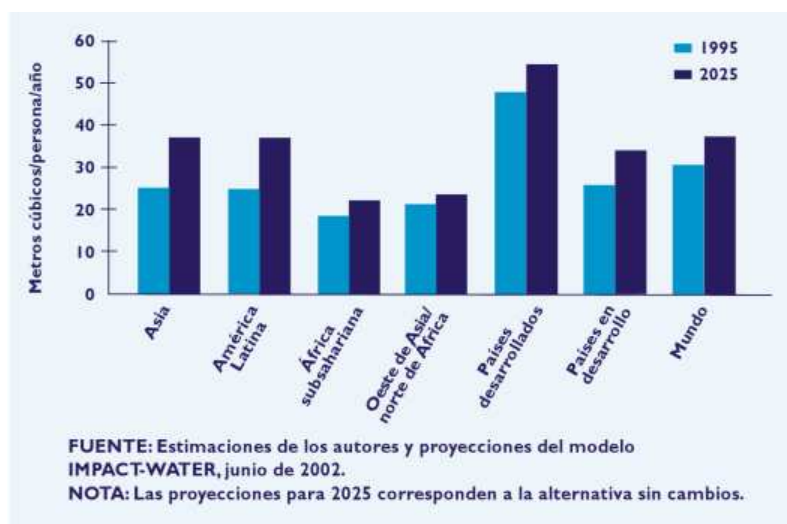
Respecto al preciado líquido, si bien el consumo promedio per cápita en una ciudad como Bogotá, ha disminuido sensiblemente durante la última década, -- impulsado mas por la fuerza del mercado al introducir dispositivos ahorradores, que por la conciencia ambiental en sí--; también ha disminuido a un ritmo preocupante la disponibilidad de fuentes limpias, y las zonas de amortiguación y regulación tipo humedales, mientras que de manera inversamente proporcional e inexorable, se acentúan fenómenos climatológicos extremos --niño y niña-, y la presión latente en zonas de páramos por actividades mineras; todo esto en un contexto de cambio climático global que a propósito de la reciente COP 21 no resulta nada alentador, especialmente cuando se entiende que ya no se trata de evitar el calentamiento del planeta, el cual se barrunta virtualmente irreversible, sino de tratar de no superar el límite de 1,5 °C.

Así, los compromisos adquiridos por la comunidad internacional en cuanto a las metas de reducción de emisiones, constituyen entonces una especie de esfuerzo desesperado, paliativo de un cambio climático inminente, de modo que los cambios no solo en la calidad y cantidad de fuentes del recurso hídrico, sino en el ciclo global del elemento, son más que seguros.

Baste con mencionar en el caso colombiano el de los ríos como el Magdalena y el Cuaca, exhibiendo niveles actuales para diciembre de 2015, críticos, que no se registraban hace mas de 40 años y alerta por posible desabastecimiento de agua en al menos 100 municipios del país. En este punto se piensa entonces que no será suficiente con ponerse en sintonía con el mercado de dispositivos y adminículos ahorradores, en consonancia con la ola de una deseable conciencia ambiental, sin embargo muy pasiva, que se limita a tomar y consumir lo que el mercado ofrece, sino que las acciones individuales o comunitarias activas y replicables para el ahorro, gestión y optimización del agua de uso doméstico serán decisivas, máxime cuando este consumo doméstico, a pesar de ser el que menos peso relativo tiene frente a otros usos como la industria y la agricultura, sin embargo se proyecta como el de mayor incremento en la próxima década, debido al crecimiento poblacional, especialmente en países en vía de desarrollo.

Al respecto, vale la pena mostrar las cifras estimadas de Mark<sup>1</sup>, en las que se pronostica un aumento del consumo domestico de agua entre 1995 y 2025, de un 71% originado por el crecimiento demográfico esperado y un aumento en si mismo del consumo promedio por persona, atribuyéndose a su vez al menos un 90% de tal incremento a países en desarrollo.

Gráfico No 1. Consumo per cápita de agua para usos domésticos por región, 1995 y 2025. Fuente: Mark et al, 2002



Frente a este somero esbozo del panorama actual y futuro del agua, se considera muy pertinente hacer un aporte que concilia profundas inquietudes personales sobre el medio ambiente y el desarrollo, con los conocimientos y herramientas adquiridos como aspirante a especialista en Ingeniería Ambiental de la UIS, con el fin de pasar del abordaje puramente teórico y global de las encrucijadas ambientales actuales, al plano teórico práctico, pero desde la cotidianidad propia, a favor de acciones puntuales replicables para el mejor uso del recurso hídrico domiciliario.

<sup>1</sup> MARK W., Rosegrant; XIMING, Cai; SARAH A., Cline. Panorama global del agua hasta el año 2025. Cómo impedir una crisis inminente. Colombo: Instituto Internacional para el Manejo del Agua.2002. p. 5. Disponible en: <http://www.ifpri.org/publication/panorama-global-del-agua-hasta-el-ano-2025>

## 2. ANTECEDENTES

Mientras que industrias obscuramente demandantes de agua, emplean tecnologías de punta para su extracción y uso intensivo; incluso en esas mismas ruralidades, el acceso de las comunidades al recurso, en cuanto a calidad y cantidad es tan paupérrimo como hace décadas, ó siglos.

En efecto, en zonas no interconectadas ZNI, como es el caso de la mayor parte del Chocó biogeográfico colombiano, en donde actividades como la minería ilegal insumen y contaminan los ríos y fuentes superficiales, la captación del agua lluvia para consumo humano es casi imperativa.

Esta actividad de interceptar la precipitación pluvial, bien sea por medio de superficies de origen antrópico, o naturales, para conducir y almacenar el agua para su uso posterior, puede ser tan antigua como otras actividades que representaron el paso del nomadismo de caza, pesca y recolección al sedentarismo de la agricultura insípida.

De acuerdo con Ballén et al<sup>2</sup> las evidencias paleontológicas más antiguas proceden apenas de hace unos 4000 años, el Desierto de Negev, en Israel y Jordania, en donde se han encontrado restos de sistemas de captación de agua de lluvia que consistían en el desmonte de lomeríos para aumentar la escorrentía superficial, que era entonces dirigida a predios agrícolas en las zonas más bajas.

Sin embargo, Angelakis et al<sup>3</sup>, presenta evidencias de avanzados sistemas hidro-tecnológicos de aprovechamiento de aguas, incluida la lluvia, en las culturas Minoica (3200-1100 aC.) y Etrusca (800 – 100 aC), consistentes en cisternas y tuberías de terracota, llamando la atención en la sostenibilidad a largo plazo del uso de cisternas durante la era Minoica, dado que es posible en la actualidad hallar en Creta, el uso de estas técnicas ancestrales.

---

<sup>2</sup> BALLEEN SUAREZ, Jose; GALARZA GARCIA, Miguel; ORTIZ MOSQUERA Rafael. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. En Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua. Joao Pessoa (Brasil) 5 a 7 de junio de 2006.

<sup>3</sup> ANGELAKIS Andreas; DE FEO, Giovanni; LAUREANO, Pietro; ZOUROU, Anastasia. Minoan and Etruscan Hydro -Technologies. p. 972. En: Water 2013, 5, 972-987; doi:10.3390/w5030972.

Disponible en:

[www.mdpi.com/2073-4441/5/3/972/pdf](http://www.mdpi.com/2073-4441/5/3/972/pdf)

En la América precolombina, destaca de acuerdo con Ballén<sup>4</sup> el caso de la cultura Maya, específicamente al sur de la ciudad Oxkutzcab (estado de Yucatán) en el pie de la montaña Puuc, en el siglo X a.C. el abastecimiento de agua para la población y el riego de los cultivos se hacía a través una tecnología para el aprovechamiento de agua lluvia, que era recogida en un área de 100 a 200 m<sup>2</sup> y almacenada en cisternas llamadas “Chultuns”.

En la actualidad, “una variedad de prácticas ancestrales y modernas de manejo del agua lluvia destacan las dimensiones culturales de sistemas de recolección, de almacenamiento, transporte, distribución, transformación en alimento, mantenimiento y control de calidad del agua, a nivel familiar y comunitario, en áreas urbanas y rurales en varias regiones del mundo” Pacheco<sup>5</sup>.

En efecto, el acervo bibliográfico sobre la pervivencia de sistemas tradicionales, tanto como el desarrollo y gestión de modelos actuales es prolijo, referenciando notables casos desde Medio oriente y la India y desde Australia hasta Canadá, de modo que para delimitar el presente apartado y no hacerlo farragoso, a continuación se presenta una síntesis del estado actual en cuanto al aprovechamiento del agua lluvia a nivel mundial, que se considera muy pertinente ya que brinda un panorama sucinto pero completo de las acciones y esfuerzos mas adelantados a nivel global, para aprovechar este recurso.

## **2.1 Captación en Europa**

El aprovechamiento del agua de lluvia en Europa, se debe sobre todo al alto precio del agua en muchos países, entre más alta es la tarifa mejor la amortización. Los países en donde tiene un mayor costo son Dinamarca (1.84 Euro/m<sup>3</sup>) y Alemania (1.73 Euro/m<sup>3</sup>), este último es el país en donde más se ha desarrollado la captación de agua. Sin embargo, existen programadas muy fuertes y apoyos para la aplicación de tecnologías en Austria, Suiza, y Bélgica.

### **2.1.1 Alemania**

El promedio de precipitación anual en Alemania varía entre los 563mm y los 855mm. Existe un interés creciente en la captación de agua de lluvia en las

---

<sup>4</sup> BALLEEN. Op. Cit.

<sup>5</sup> PACHECO MONTES, Margarita. Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de “Lluviatl” en México. En Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, año 2008. No. 3. p 44. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7060/pacheco.pdf>

casas, particularmente al nivel de gobierno local. Debido a la contaminación industrial y la estricta normativa en lo que se refiere al agua potable, el recurso pluvial es utilizado para usos no potables como descarga de sanitarios, lavado de ropa y riego de áreas verdes. Además del ahorro que significa aprovechar el agua de lluvia, las personas que utilizan estos sistemas reciben el beneficio de no tener que pagar la tasa anual que se cobra por descargar el escurrimiento pluvial a los drenajes. De igual forma, existen subsidios y apoyos para todas aquellas personas que quieran instalar estos sistemas.

También se cobran impuestos a las propiedades que generan escurrimientos directos al drenaje local. Lo que impulsa que el agua de lluvia sea recolectada y conservada para evitar que se descargue a los sistemas locales. De esta forma la gente consigue reducción en los impuestos si convierte sus zonas impermeables (techos y pavimentos) en zonas de captación de agua de lluvia.

#### *Berlín*

En octubre de 1998, como parte de una gran escala de redesarrollo urbano en Berlín, se instalaron sistemas de captación de agua de lluvia en Potsdamer Platz, zona en la cual se recoge el agua que cae en los techos y se almacena en un tanque subterráneo que tiene capacidad para 3.500 m<sup>3</sup>. Esta agua se aprovecha para la descarga de inodoros, riego de zonas verdes (incluyendo los techos con cubierta vegetal) y la reposición de un estanque artificiales.

En otro proyecto en Luedecke-Strasse el agua de lluvia de todas las áreas del techo (superficie aproximada de 7.000 m<sup>2</sup>), se descarga en un drenaje de aguas pluviales y es dirigida a una cisterna con una capacidad de 160 m<sup>3</sup> junto con la escorrentía de las calles, plazas de aparcamiento y las vías (un área aproximada de 4.200 m<sup>2</sup>). El agua es tratada en varias etapas y se utiliza para escusados y riego de zonas verdes. Se estima que con la utilización de este sistema se puede ahorrar un 58% del agua local. También se calcula que en diez años con el aprovechamiento del escurrimiento pluvial, se puede reducir la utilización de agua potable en 2.430 m<sup>3</sup> por año.

#### *Aeropuerto de Frankfurt*

Se implementó un sistema de captación en la mayoría de zonas techadas de la terminal construida en 1993 (área de 26.800 m<sup>2</sup>). El agua es almacenada en 6 tanques que se encuentran en los sótanos, cada uno con una capacidad de 100m<sup>3</sup>. El agua es utilizada para sanitarios, riego y limpieza de los aires acondicionados.

#### *Universidad Técnica de Darmstadt*

En el centro académico se instaló un mega sistema de recolección de agua de lluvia y reúso que ha reducido la demanda de agua potable tan solo para beber, tomando del servicio público 20% del líquido utilizado. El agua de lluvia es aprovechada para los sanitarios, limpieza de superficies y enfriamiento.

### 2.1.2 Suiza

A pesar de que el agua en este país es todavía un recurso abundante, su compromiso con el desarrollo sustentable y el manejo responsable de los recursos lo ha llevado a implementar sistemas de captación de agua de lluvia. De acuerdo con un estudio reciente, en Suiza el 20% del agua en las viviendas es utilizada para descarga de escusados, 15% para el lavado de ropa y 10% para la limpieza del automóvil. Bajo estas consideraciones, en la zona residencial de Ringdansen, Norrköping se está implementado un proyecto para lograr que las tareas domésticas que necesitan sólo de agua de baja calidad sean satisfechas a través de la captación de agua de lluvia. Con ello se pretende ahorrar 3800 m<sup>3</sup> de agua al mes por uso en escusados, 3000 m<sup>3</sup> en lavado de ropa y hasta 25 m<sup>3</sup> al mes en la limpieza de vehículos.

### 2.1.3 Reino Unido

La principal motivación para utilizar los sistemas de captación de agua de lluvia en Reino Unido es el estrés hídrico. Aunque se considere un país lluvioso sufre por falta de agua debido a dos razones: el aumento de la población y la demanda de agua, así como migración a las ciudades y repartición urbana desigual, así que se están agotando los recursos en las zonas de mayor desarrollo urbano y mayor densidad de población. Por esta razón están desarrollando un programa reglamentado que busca reducir gradualmente el consumo de agua de agua de 150 litros por persona a 80. Además, la captación de lluvia se propone como una medida para prevenir inundaciones, ya que al aprovechar el agua pluvial en distintos puntos, se evita que gran parte del líquido escurra por las calles y sature los drenajes, provocando problemas.

Un punto fuerte en Inglaterra fue la creación de la Asociación para la cosecha de agua (por sus siglas en inglés UKRHA). Que ha luchado por promover leyes y negociar con los entes de gobierno, para mostrar los beneficios de promover esta solución y de aplicar nuevas tecnologías que permitan el aprovechamiento del recurso pluvial. De igual forma, están trabajando constantemente en garantizar que se cumpla la calidad del recurso pluvial, para que no vaya a afectar la salud de la población.

En Reino Unido, todas las nuevas construcciones habitacionales deben estar valoradas por el código de hogares sustentables. Para lo cual los equipos de captación de agua de lluvia se presentan como una opción bastante llamativa y ha provocado un crecimiento en el mercado, ya que es una forma práctica de reducir el consumo de agua en las construcciones sin necesidad de abandonar ciertas comodidades.

## 2.2 Captación en Asia

En este enorme continente muchos países viven entre la contradicción que suponen las inundaciones en la época de lluvia sobre todo en las zonas del sur y cuando vienen el monzón, y la falta de suministro en las regiones áridas. De igual forma, las mega ciudades de China, India y Japón, están enfrentando la escasez en el suministro, razón por la cual están viendo en el agua de lluvia una solución determinante. También efectos del cambio climático como sequías más prolongadas o lluvias más torrenciales, así como el derretimiento de los glaciares del Himalaya, están impulsando la búsqueda de nuevas fuentes de suministro.

### 2.2.1 China, Provincia de Gansu

China ha estado enfrentando serios problemas de escasez de agua que han causado grandes pérdidas económicas y medioambientales. La peor condición de falta de suministro, se da en la meseta de Loess de Gansu, localizada en el noroeste del País. Esta zona, una de las más pobres de China, depende por completo del agua de lluvia, pero las lluvias son cada vez más escasas, la precipitación anual es de unos 300 mm y sucede entre los meses de julio a septiembre, mientras que las cantidades de evaporación potencial son de 1,500-2,000 mm. El agua superficial y subterránea es limitada, por lo tanto la agricultura en la provincia depende de las precipitaciones.

Entre 1995-96, se inició el Proyecto de Captación de agua de lluvia "121", implementado por el gobierno de la provincia de Gansu para apoyar a los agricultores, en el cual, le entregaban a cada familia un sistema para captar agua de lluvia. Este consistía en: canaletas para recolectar el agua de los techos, tanques de almacenamiento de cemento y planchas de plástico para recolectar la lluvia en el suelo. El agua recolectada la podían utilizar para el riego de sus cultivos. A partir de 2000, se construyeron un total de 2.183.000 tanques para recolectar el agua de lluvia con una capacidad total de 73,1 millones de m<sup>3</sup> garantizando el suministro de agua potable para 1,97 millones personas y riego suplementario de 236.400 hectáreas de tierra.

A partir de este proyecto, diecisiete provincias de China adoptaron la técnica de aprovechamiento de aguas pluviales, mediante la creación de 5,6 millones tanques con una capacidad total de 1,8 millones de m<sup>3</sup>, y garantizando el suministro de agua potable para aproximadamente 15 millones de personas y el riego suplementario de 1,2 millones de hectáreas de tierra.

### 2.2.2. Japón

La temporada de lluvia en Japón va desde comienzos de junio hasta octubre cuando termina la época de tifones y con un promedio anual de 1,380 mm. Para mitigar la escasez de agua, controlar las inundaciones y tener reserva segura de líquido en caso de emergencias, en Tokio se promueve la

recolección y la utilización de agua de lluvia. En la ciudad un promedio de 750 edificios públicos y privados utilizan sistemas para la recolección y utilización del recurso pluvial. También han desarrollado un sistema urbano a gran escala para establecer zonas de retención y almacenamiento, preservando la naturaleza en los bordes de los ríos y acoplando superficies para que se inunden en la época de lluvia, y así evitar que los desbordamientos afecten otras zonas.

#### *Sistema Rojison*

En Tokio a nivel comunitario, se utiliza el sistema "Rojison", un sistema simple creado por los residentes locales en el distrito de Mukojima para aprovechar el agua de lluvia recogida de los tejados de las casas, utilizándola para riego de jardines, reserva de agua en caso de emergencias y para la extinción de incendios. Está instalación recibe el agua de lluvia del techo de la casa, para almacenarla en un pozo subterráneo y luego extraerla por medio de una bomba manual.

#### *Sumida*

En el Coliseo de lucha de Sumo Ryogoku Kokugikan, se aprovecha una azotea de 8.400 m<sup>2</sup> como superficie de captación, el agua de lluvia recogida se vierte en un tanque de almacenamiento de 1.000 m<sup>3</sup> y utilizan para limpieza de superficies, baños y aires acondicionados. La municipalidad está ampliando este sistema para las nuevas instalaciones públicas.

#### 2.2.3 India

Según los estudios de la FAO la India está considerada como uno de los 6 países que más están en peligro por falta de agua. Por esta razón muchas autoridades están desarrollando programas que lleven al ahorro, uso eficiente del agua, así como el aprovechamiento del recurso pluvial y el apoyo a nuevas tecnologías que lo permitan. Es el país más poblado del mundo con 1200 millones de habitantes y en muchas regiones agrícolas, así como en las mega ciudades se viven problemas por la escasez y contaminación de agua. La solución que se ha tomado para enfrentar estos problemas son las técnicas de aprovechamiento de agua lluvia.

La distribución del agua de lluvia en India es muy variable pasando de los 100mm en los desiertos del Noroeste a 2500 mm en las montañas del Noreste, también con una temporada de lluvia muy marcada por el monzón que es un diluvio breve, aproximadamente 100 horas de lluvia, en las que se debe captar y almacenar el agua para las otras 8,660 horas que constituyen un año. Por estas razones el agua de lluvia es fundamental para la agricultura en la India desde hace mucho tiempo. De igual forma, se empieza a presentar una demanda cada vez mayor para aplicar este tipo de métodos en las zonas urbanas como respuesta al aumento de la población, el consumo de las

reservas de agua y el incremento de las actividades productivas y comerciales que exigen un mayor gasto del suministro.

En la actualidad las fuentes subterráneas son el principal suministro y son extraídas por gobierno y entidades privadas. En este país, 19 ciudades se enfrentan a situaciones de creciente escasez de agua, en la actualidad, en urbes como Chennai y Nueva Dheli, los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia son obligatorios.

Los sistemas para captar el agua de lluvia, son de bajo impacto, de poco costo y puede ayudar a aumentar las reservas. Razón por la cual, los gobiernos locales y nacionales están implementando leyes y buscando fondos que lleven a fomentar y aumentar la captación de lluvia. Un 50% de los fondos de desarrollo rural son usados para promover sistemas de cosecha de lluvia en el campo.

Además, la cosecha de lluvia es una tradición muy antigua incluso existe un nombre tradicional para el administrador de agua de lluvia que es el "pallar", estos se dedican a desarrollar técnicas e idear soluciones para captar el agua de lluvia dependiendo de cada región, es un conocimiento hereditario y a partir de la experiencia. En India se capta el agua de lluvia desde las azoteas, en los patios, en pozos abiertos en tierras comunales, tienen que aprovechar los escurrimientos y la cantidad de agua que cae cada año en el monzón.

Los sistemas de captación de agua de lluvia en techos son obligatorios en las nuevas construcciones en 18 de los 28 estados de India. Por ejemplo:

- En Deli están desarrollando un programa que busca dar incentivos económicos y soporte técnico para todas aquellas personas o empresas que tengan el interés de implementar este tipo de sistemas y se está exigiendo en edificios gubernamentales.
- En Bangalore se está implementando una disminución en los impuestos para las personas que implementan sistemas de captación de agua de lluvia en sus hogares. Según las autoridades locales, si se aprovecha el agua de lluvia en esta ciudad tendrían suministro para 6 meses
- En Mumbai se están desarrollando una serie de regulaciones para asegurar que el uso de sistemas para captar el agua de lluvia se aplique y a partir del 2002, se declaró obligatorio que las nuevas construcciones con un área de 1000 m<sup>2</sup> instalen este tipo de sistemas. Sin embargo, estas leyes no se han implementado con éxito por falta de monitoreo.

#### 2.2.4 Singapur

La tierra en esta isla asiática es escasa y cara, aproximadamente 86% de la población de Singapur vive en edificios de gran altura y se enfrentan a una demanda creciente de agua. Desde 1986, cuando se reconoció el grave problema de escases al que se enfrentaba el país, se están implementando esquemas para la captación de agua de lluvia. El promedio de lluvia anual en

Singapur es de 2.400 mm y se está buscando que 50% de la superficie se utilice para captar el agua de lluvia.

Razón por la cual están buscando fuentes alternativas y métodos innovadores para la recolección de agua de lluvia. Se está impulsando la recolección de agua de lluvia en diversas superficies, empezando por la utilización de los techos de los edificios altos, pero también se aprovechan las pistas del aeropuerto, los techos y estacionamientos de los complejos industriales e instituciones educativas. El líquido es recogido y pasa a cisternas separadas, para ser aprovechado en usos no potables. Debido a que la mayoría de esta agua es captada en zonas urbanas existe un enorme control sobre la contaminación y se aplican tecnologías que aseguren su calidad.

El mayor esquema de captación agua se encuentra en el estuario Sungei, en la localidad de Sedar al noreste del país, con un área de captación de 3200 hectáreas, aquí el agua es recolectada y luego pasa por un sistema de purificación para distribuirla. Pero también existen otros ejemplos:

#### *Aeropuerto Changi*

Se implementaron sistema para captar el agua de lluvia que escurre por las pistas, las áreas verdes y los techos, que es almacenar en depósitos. El agua se utiliza principalmente para las reservas antiincendios y para los inodoros. La utilización del agua de lluvia ha reducido de un 28-33% el uso de agua en las instalaciones y ha generado un ahorro aproximado de 390,000 dólares de Singapur.

#### *Recolección en edificios altos*

Este sistema ha sido implementado en el techo de edificios de 15 plantas. El agua que escurre por los techos, se capta y es dirigida a dos tanques de almacenamiento de donde se extrae para su utilización en la descarga de sanitarios. La calidad del agua es aceptable en cuanto a color, turbidez y contenido bacteriológico, sin embargo según los estudios, los sólidos totales y niveles de cloruro eran altos. Según los calculas se ha conseguido un ahorro del 13,7% del agua.

#### *Zonas residenciales urbanas*

En una zona urbana de 742 hectáreas y con un total de 49.000 departamentos, se han activado equipos para captar y aprovechar el agua de lluvia que han resultado muy efectivos. Por medio de un programa de cómputo se determina el agua almacena y cuando esta se termina se abre de forma automática para recibir el suministro público.

### 2.2.5 Bangladesh

La recolección de agua de lluvia se ha desarrollado como una alternativa para tener un suministro de agua potable, ya que en algunas zonas las reservas de agua están contaminadas con arsénico. Desde 1997 a partir de un programa desarrollado por la ONG Foro para el Agua y Saneamiento, se han instalado en este país alrededor de 1000 sistemas de captación de agua pluvial, especialmente en zonas rurales. El agua recogida en tanques que pueden ser de 500 a 3.200 litros, se utiliza para beber, cocinar y ha tenido una gran aceptación por los residentes locales al ser considerada una fuente segura. Los estudios han demostrado que si el agua se mantiene bien almacenada y protegida puede durar hasta 4 o 5 meses sin que tenga índices de contaminación bacteriana. En los últimos años también se están emprendiendo campañas para recolectar el agua de lluvia en zonas urbanas y así garantizar el suministro doméstico.

---

## 2.3 Captación en Australia

En este enorme país viven dos situaciones distintas de falta de suministro por un lado en la zonas rurales, en donde la densidad de población es muy baja, el agua debe recorrer grandes distancias a través de kilómetros de tubería, haciendo que esta sea muy costosa o que en algunos lugares remotos no se suministre el servicio. Por lo tanto se ve al agua lluvia como una solución a la mano para los problemas de suministro.

Por otro lado, en la grandes urbes australianas están teniendo que enfrentar una crisis por falta de agua, el aumento de la población y el fracaso para aumentar las reservas, agravados por los efectos del cambio climático, están provocando que muchas ciudades se empiecen a quedar sin suministro. Además ante la escasez de agua, en gran parte del país la captación de agua de lluvia se ha convertido en un requisito y la instalación de tanques para almacenar el recurso pluvial es obligatoria en las nuevas construcciones. En algunos estados de Australia se han dado grandes pasos para promover una legislación que lleve a la eficiencia en el uso de agua, por ejemplo:

### *Victoria*

Desde julio de 2005, las nuevas casas y departamentos deben cumplir con los requisitos de gestión del agua de lluvia señalados en los 5 Star standard: sistemas ahorradores de agua, tanque para captar agua pluvial que se puede utilizar en la descarga de escusados.

### *Sur de Australia*

Las nuevas construcciones deben contar con un tanque para el almacenamiento de agua de lluvia conectados a la casa.

### *Sídney y Nuevo Sur Gales*

Las regulaciones del Índice para Construcciones y Sustentabilidad (BASIX por sus siglas en inglés) proponen un 40% de reducción en el uso de agua de suministro público, para lo cual proponen la utilización de sistemas ahorradores y captación de agua de lluvia en tanques que se use para escusados y lavado de ropa. En los juegos olímpicos de Sídney 2000 se aplicaron sistemas de captación de agua de lluvia para su reúso en los escusados de la billa olímpica.

### *Costa de Oro*

En los nuevos desarrollos, tanto casas como negocios, se exige tanques de 3,000 litros que deben estar conectados a las lavadoras de ropa y las llaves que se encuentran en el exterior.

### *Queens land*

En este estado se ofrece un descuento de 1,500 dólares para las personas que instalen sistemas para la captación de agua de lluvia en sus casas.

---

## **2.4 Captación en África**

En el continente de los grandes desiertos, cada vez se utilizan más sistemas para la captación de agua de lluvia aunque se enfrentan a algunos problemas como: precipitación estacional y más escasez que en otras partes del mundo, menor número y tamaño de las cubiertas impermeables, alto costo y dificultad para encontrar los materiales y mayores costos de la construcción e implementación de los sistemas. Sin embargo, la falta de agua en muchas zonas hace que esta sea una solución fundamental.

### 2.4.1 Kenia

Esta práctica se lleva a cabo en Kenia desde finales de 1970, se han construido miles de sistemas de captación promovidos por constructores locales llamados "fundis" que se encargan de diseñar distintas estrategias y retomar prácticas tradicionales para aprovechar el agua de lluvia.

Con una población de 25 millones de personas, sólo el 42% de kenianos tiene acceso al agua, lo que significa que 15 millones están excluidos de un suministro seguro y adecuado. Esta situación es especialmente preocupante en la región de Laikipia, en donde la precipitación anual se estima en 400 mm. Para esta comunidad se diseñó un programa para instalar tanques subterráneos con capacidad para almacenar 100 m<sup>3</sup> de agua que servirían para proveer, durante 4 meses, de 10 litros por persona al día. La calidad del agua captada no es apta para beber, pero sirve para otros usos como limpieza

y riego de cultivos, lo que ha permitido un aumento en la producción de vegetales, por lo tanto, un incremento en el ingreso de las familias .

#### 2.4.2 Zimbabue

Este país es generalmente pobre en términos de recursos hídricos, dadas las condiciones de lluvia impredecible y muy alta pérdida por concepto de evaporación. De hecho, la precipitación anual se estima en alrededor de 650 mm, la cual ocurre fundamentalmente entre los meses de noviembre y marzo, con el resto del año virtualmente seco. Para hacer frente a esta situación, los pobladores han utilizado tradicionalmente una técnica de captación denominada Fanya juus que, aunque originaria de Kenia, ha sido ampliamente utilizada. Ésta consiste en hacer canaletas de 50 a 60 cm de profundidad en la tierra que conducen a un sistema de almacenamiento que, a su vez, está conectado con cultivos locales para ser regados. Los sistemas de captación de agua de lluvia en este país, sean estos tradicionales o más sofisticados, se encuentran fundamentalmente relacionados con el uso agrícola ya que alrededor del 76% de los habitantes consideran esta actividad como su principal fuente de ingresos.<sup>6</sup>

En contraste entonces con la situación global en donde parecen articularse esfuerzos, políticas e incentivos, bien sea por el alto costo del recurso en ciudades, o por las condiciones bioclimáticas y la presión demográfica, en Colombia aún parecen atomizados, dispersos y tímidos los desarrollos en el tema de aprovechamiento de aguas lluvias, a pesar de que el país cuenta con zonas áridas y semiáridas como en la alta guajira, en donde muy probablemente la viabilidad técnica y económica de estos sistemas frente a pozos profundos, podría ser factible para aliviar parcialmente la escasez de agua en la región.

“En Colombia específicamente, el almacenamiento y uso de las aguas lluvias se ha implementado principalmente en las regiones con problemas de abastecimiento de agua potable para consumo doméstico, como lo son La Bocana (Buenaventura), El Chocó, San Andrés; Puerto Carreño (Vichada), Cartagena; Cali, entre otros, de los cuales la mayoría son sistemas rurales empíricos”. Ballén<sup>7</sup>

Es así como a nivel nacional, uno de los casos más emblemáticos es el de San Andrés y Providencia, en donde la captación del agua lluvia se realiza a nivel familiar y con gran autonomía por parte de las mujeres. Las cisternas familiares complementan los sistemas ineficientes del acueducto, promueve la autosuficiencia, la responsabilidad femenina en el control de calidad y mantienen

---

<sup>6</sup> HIDROPULUVIALES. Captación en el mundo.(citado el 07 de enero de 2015). Disponible en: <http://hidropluviales.com/captacion-en-el-mundo/>

<sup>7</sup> BALLEEN. op. cit

el carácter simbólico del agua donada por el cielo. La arquitectura de las islas ha desarrollado el concepto de “cisterna con casa”, el cual permite almacenar volúmenes importantes del precioso líquido.<sup>8</sup>

Por otra parte los casos de implementación real y efectiva de sistemas de recolección de aguas lluvias en los centros urbanos densamente poblados en el país, es mucho más escaso y se circunscribe básicamente a entes ó instituciones publico privadas.

Como casos aislados existen algunas edificaciones de tipo institucional o comercial, donde se realizaron diseños de instalaciones hidráulicas para el aprovechamiento del agua lluvia cubriendo total o parcialmente la demanda, entre ellos se cuenta:

- El almacén Alkosto Venecia (Bogotá), donde se aprovechan 6.000 m<sup>2</sup> de cubierta para captar alrededor de 4.820 m<sup>3</sup> de agua lluvia al año, con lo cual se satisface el 75% de la demanda actual de agua potable de la edificación.
- El almacén Alkosto de Villavicencio, esta edificación tiene una cubierta de 1.061 m<sup>2</sup> con la cual se capta el agua lluvia para ser almacenada en un tanque de 150 m<sup>3</sup>, posteriormente el agua es tratada por medio de los procesos de floculación, filtrado y cloración realizados en una planta de tratamiento, el sistema proporciona agua potable para todas las necesidades del almacén durante todo el año.
- El edificio de Postgrados de Ciencias Humanas de la sede Bogotá de la Universidad Nacional, cuenta con un sistema en el cual en su cubierta protegida con grava se capta agua lluvia que es llevada a un tanque subterráneo, desde el que se bombea agua para la descarga de los inodoros, y alimentar las fuentes y los espejos de agua. Ballén<sup>9</sup>

Casos más recientes de implementación urbana en nuestra ciudad son:

- Planta de Gerfor: la cubierta tiene un área de 50.000 m<sup>2</sup> y capta en promedio 18.000 m<sup>3</sup> de aguas lluvias al año, a través de tuberías de 6” de diámetro. El sistema de tuberías instalado en las terrazas de la cubierta recoge todas las aguas lluvias y las transporta hasta un tanque de almacenamiento subterráneo con una capacidad de 1.300 m<sup>3</sup>.
- Complejo Acuático Simón Bolívar en Bogotá: La cubierta recoge el agua lluvia y la envía a un tanque de purificación. Luego de ser procesado, el líquido pasa a un tanque de aguas tratadas para que un sistema

---

<sup>8</sup> AVELLA, F. (2001). Difícil Balance Población Recursos: El caso del agua en San Andrés, Isla, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede San Andrés. Policopiado, citado por PACHECO MONTES, Margarita. Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de “Lluviatl” en México. En Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, año 2008. No. 3. p 44. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7060/pacheco.pdf>

<sup>9</sup> BALLEEN. op. cit

especializado verifique su saneamiento y finalmente la inyecte al sistema hidráulico para labores de limpieza y adecuación de baños, cocinas y jardines. GERFOR<sup>10</sup>.

Se ha referenciado hasta aquí, el *statu quo* en lo que refiere a la implementación práctica y operación de sistemas de captación de aguas lluvias a nivel mundial y de Colombia.

Por otra parte, existe también bastante material documental en lo que respecta a la evaluación de factibilidad técnica y económica como tal del sistema y de la oferta del recurso en si, de proyectos que no necesariamente han llegado a implementarse físicamente en el país, por ejemplo Castañeda<sup>11</sup> plantea una propuesta para captación de agua en una escuela rural en el municipio de Caldas, Antioquia; Feijoo y Perea<sup>12</sup> evalúan el uso de agua lluvia como alternativa para ahorro de agua en la Universidad del Valle y Arango y Florez<sup>13</sup> diseñan un sistema de aprovechamiento domestico de aguas lluvias para la región pacífica.

Finalmente, en cuanto a la calidad física y microbiológica del agua lluvia, se han realizado trabajos importantes en diferentes partes del mundo, buscando evaluar principalmente la inocuidad del recurso para diferentes usos, o correlacionando su uso con morbi- mortalidad. Dentro de los estudios más recientes al respecto, destacan, Ahmed y Gardner<sup>14</sup> y Chidamba y Korsten<sup>15</sup> presentando

---

<sup>10</sup> GERFOR. Avanzando hacia el desarrollo sostenible. Reutilización del agua lluvia. En:Revista del Agua (on line) (citado el 08/01/2016). Disponible en:

lluvia.<http://www.gerfor.com/index.php/gerfor-menu/revistas-del-agua/revista-del-agua-1/item/130->

<sup>11</sup> .PALACIO, CASTAÑEDA Natalia. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa maría auxiliadora de Caldas, Antioquia. Trabajo de Monografía Especialización en Manejo y Gestión del Agua. Universidad de Antioquia escuela ambiental especialización en manejo y gestión del agua. Medellín. 2010

<sup>12</sup> FEIJO, valentina; PEREA, Andres. Aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable en la universidad del Valle sede Meléndez. Tesis de grado Ingeniería Civil. Universidad del valle Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil y Geomática. Santiago de Cali 2014. 78 p. Disponible en: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/8507>

<sup>13</sup> ARANGO, Nathalie; FLOREZ, Juliana. Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el abastecimiento de agua potable a los habitantes del Pacífico Colombiano en zonas rurales de difícil acceso con ausencia o deficiencia del recurso. Tesis de grado. Universidad ICESI. Facultad de ingeniería Departamento de diseño Cali 2012. 94 p.

<sup>14</sup> AHMED, W.; GARDNER, T.;TOZE, S. Microbiological quality of roof-harvested rainwater and health risks: A review. En: Journal of Environmental Quality 40.1 (Jan/Feb 2011): p. 13-21. Disponible en: <http://search.proquest.com/docview/848723075/76ECDBC6088B49A5PQ/31?accountid=15412>

<sup>15</sup>CHIDAMBA, Lizyben; KORSTEN, Lise. Antibiotic resistance in Escherichia coli isolates from roof-harvested rain water tanks and urban pigeon faeces as the likely source of contamination. En: Environmental Monitoring and Assessment 187.7 (Jul 2015): p. 1-15. Disponible en: <http://search.proquest.com/docview/1695964317/B7C82CF245C240F9PQ/28?accountid=15412>

respectivamente estudios de caso sobre contaminación de aguas lluvias provenientes de tejados, con coliformes fecales y la resistencia de estos patógenos a antibióticos.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 USO DE AGUAS LLUVIAS Y CAMBIO CLIMATICO.

Anteriormente se señaló que el cambio climático mundial es inminente y al parecer, apenas empezamos observar los primeros efectos.

Para el caso específico de Bogotá, Ruiz y Escobar<sup>16</sup> han determinado que para el periodo, comprendido entre 1971- 2010, la temperatura promedio de la capital aumento entre 1 y 2 °C., mientras que de 2000-2010 fue la década más lluviosa de esos 40 años. Por otra parte bajo modelos IPCC(Panel Intergubernamental de expertos en cambio climático), los autores establecen un posible escenario de reducción de precipitaciones para la presente centuria, de un 18,4% en promedio frente a los valores medios históricos 1971-2000, con valores extremos que rondan el 50% para la última década del siglo (2091- 2100).

Como puede apreciarse, con base en lo anterior y aún calificando, si se quiere, de apocalípticas tales predicciones, no puede desconocerse un preocupante contraste en el hecho de que para los últimos 40 años se registren simultáneamente un aumento considerable de temperatura y a la vez una década tan lluviosa, es decir este solo hecho de por sí, debería comportar un llamado de atención frente al tema del cambio climático.

Frente a este escenario y bajo un punto de vista quizá superfluo, puede caerse en el error de considerar inviable entonces la implementación de sistemas para el aprovechamiento de aguas lluvias en una ciudad como Bogotá, pero no debe perderse de vista que los efectos esperados en el cambio del clima, necesariamente afectarán también las regiones en donde se encuentran las fuentes de suministro de agua potable para la ciudad, lo que aumentará la presión sobre el recurso, de un modo que aún es difícil pronosticar.

---

<sup>16</sup> RUIZ, Jose; ESCOBAR, Omar. Alteraciones de la precipitación y la temperatura ante variabilidad y cambio climático para la ciudad de Bogotá (on line). IDEAM. Subdirección de Metereologia, 2012. p. 21. Disponible en: [http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Escenarios+Bogota+\(Ruiz+y+Escobar\).pdf/13e1c051-d085-45b6-8bb0-d1c86df1beb1](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Escenarios+Bogota+(Ruiz+y+Escobar).pdf/13e1c051-d085-45b6-8bb0-d1c86df1beb1)

Es así como la previsión de fuentes alternativas cobra gran importancia, como bien anota Imteaz<sup>17</sup>, el uso de fuentes alternativas es una de las soluciones frecuentemente citadas frente al problema de la escasez de agua, siendo las alternativas más importantes, el uso de agua lluvia, la reutilización de aguas de desecho y la desalinización de agua de mar.

De estas alternativas, el uso de agua lluvia, es considerado por Anecchini<sup>18</sup> y Santos y Taveira-Pinto<sup>19</sup>, como una de las soluciones más simples y de bajo costo para preservar el agua potable, promoviendo así el uso sostenible del agua, garantizando su cantidad y calidad para futuras generaciones mediante la reducción de la demanda.

Podría colegirse entonces, que la implementación de sistemas de captación de aguas lluvias, probablemente empieza a encontrar un lugar dentro de los mecanismos de adaptación frente al cambio climático en las grandes ciudades.

Al respecto, de acuerdo con Elliott and Trowsdale<sup>20</sup>, el uso del agua lluvia se renoce como una de las herramientas para Sistemas Sostenible de Drenaje Urbano que permite restaurar el ciclo hidrológico natural en las ciudades. El aprovechamiento de agua lluvia, limita la demanda de agua potable y al mismo tiempo su almacenamiento controla el flujo de aguas pluviales.

---

<sup>17</sup> IMTEAZ, M. A., ADEBOYE, O. B., RAIBURG, S., & SHANABLEH, A. (2012). Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance model. *En Resources, Conservation and Recycling*, 62, p. 51–55 citado por HIROMITE, Gabriel et al. Use of rainwater for non-potable purposes in the Amazon. *En : Development and Sustainability* 16.2 (Apr 2014): 431-442. Disponible en:

<http://search.proquest.com/docview/1503748286/14E1AABC2D984DFCPQ/1?accountid=15412>

<sup>18</sup> ANNECCHINI, K. P. V. (2005). Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES). Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)—Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. Citado por HIROMITE, Gabriel et al. Use of rainwater for non-potable purposes in the Amazon. *En : Development and Sustainability* 16.2 (Apr 2014): 431-442. Disponible en:

<http://search.proquest.com/docview/1503748286/14E1AABC2D984DFCPQ/1?accountid=15412>

<sup>19</sup> SANTOS, C., & TAVEIRA-Pinto, F. (2013). Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resources, Conservation and Recycling*, 71, 1–6. Citado por HIROMITE, Gabriel et al. Use of rainwater for non-potable purposes in the Amazon. *En : Development and Sustainability* 16.2 (Apr 2014): 431-442. Disponible en:

<http://search.proquest.com/docview/1503748286/14E1AABC2D984DFCPQ/1?accountid=15412>

<sup>20</sup> ELLIOT, A.H., TROWSDALE, S.A., 2007. A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environ. Modell. Soft.* 22 (3), 394–405. Citado Por PALLA, A.; GNECCO, I.;lanza, L.G. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems *En: Journal of Hydrology* 401 (2011) 65–76. Disponible en:

<http://thirdworld.nl/order/bddf2c896fa7b5ef4c88780620920d46f92c794b>

### 3.2. SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUAS LLUVIAS (SCALL)

“Es importante identificar los principales componentes de un sistema de captación de aguas lluvias SCALL, su funcionamiento, los criterios de diseño más sobresalientes, las características de los materiales de construcción. La forma de construir estos sistemas, su operación y su mantenimiento, de tal forma que la puesta en marcha de los proyectos sea factible con un enfoque de sostenibilidad”.<sup>21</sup>

#### 3.2.1 Componentes de un SCALL

De acuerdo con la OPS<sup>22</sup>, un SCALL para consumo humano, se compone de cuatro partes básicas:

- Captación.
- Recolección
- Interceptor
- Almacenamiento.

En un sentido más amplio, la ASPE considera además, los componentes filtración y distribución.

Cuadro No. 1. Componentes y aspectos básicos de un SCALL

COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA LLUVIA	ASPECTOS BASICOS
A. El Techo	RECOLECCION
B.Desagues del techo	
C. Canales	
E. Tanques	ALMACENAMIENTO
F. Estanques	
G. Filtración	DESINFECCIÓN
H.Tuberías	ENTREGA
I. Bombeo	
J. Señalización	

Fuente: Con base en ASPE<sup>23</sup>

<sup>21</sup> ANAYA GARDUÑO, Manuel. Captación del agua de lluvia : solución caída del cielo. Editorial: México : BBA. Biblioteca Básica de Agricultura, 2011. p. 49

<sup>22</sup> ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD/CEPIS. Captación de agua lluvia para consumo humano. Especificaciones técnicas.2003.(on line). Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cosude/i.pdf>.

<sup>23</sup> AMERICAN SOCIETY OF PLUMBING ENGINEERS. Rainwater Harvesting Systems Design. En: Consulting - Specifying Engineer. Noviembre 2011. Disponible en:

### 3.2.2 Factores de diseño.

- o Area efectiva de captación y capacidad de captación

Corresponde a la superficie sobre la cual cae el agua lluvia, utilizando para tal fin, los techos de casa de habitación, escuelas, bodegas, invernaderos y laderas revestidas o tratadas con materiales impermeabilizantes. Es importante que los materiales con los que están hechas estas superficies no desprendan olores, colores, ni sustancias que puedan contaminar el agua pluvial ó alterar la eficiencia de los sistemas de tratamiento. La superficie debe tener una extensión tal que permita captar un volumen de agua igual al estimado en la demanda, y una pendiente que facilite el escurrimiento pluvial al sistema de conducción; es importante mencionar que solo se debe considerar la proyección horizontal del área de captación

La determinación del tamaño de área efectiva de captación presenta dos escenarios, siendo uno de ellos cuando se dispone de una superficie fija que será destinada para la captación, caso en el cual el razonamiento está dirigido a calcular el volumen de agua que puede ser captado en dicha superficie y definir así la capacidad para cubrir la demanda. Para determinar la capacidad de captación se aplica la siguiente ecuación:<sup>24</sup>.

$$D_{anual} = Aec \left[ \sum_{j=1}^n PN_j \right]$$

En donde:

$D_{anual}$  = la demanda anual ( $m^3$ )

$Aec$  = Area efectiva de captación ( $m^2$ )

$PN$  = Precipitación neta (m),  $j \dots n$  = meses.

---

<http://search.proquest.com/docview/1023364723?accountid=15412>

<sup>24</sup> ANAYA. Op. Cit. p. 56-60

- o Consumo básico de agua y demanda anual de agua para los usos de interés.

De acuerdo con Granada<sup>25</sup>, empleando métodos econométricos, los resultados obtenidos a través del Modelo de Ajuste Parcial muestran que en promedio el consumo básico de agua en el país debe ser de 19 m<sup>3</sup> mensuales por suscriptor, y los resultados del Modelo Ingenuo también coinciden con esta hipótesis, al concluir que el consumo básico en Colombia es de 18 m<sup>3</sup> mensuales por suscriptor. Estas consideraciones reflejan que efectivamente en la actualidad si se encuentra sobreestimada la cantidad de agua necesaria para que los hogares colombianos cubran sus necesidades básicas, que actualmente es de 20m<sup>3</sup> mensuales.

Por otra parte el siguiente cuadro establece los para los diferentes usos del agua potable domiciliaria en Colombia.

Cuadro No 2. Porcentaje de participación de los usos del agua en el consumo total en las viviendas

<b>Uso</b>	<b>Porcentaje</b>
Lavado de Ropa	27.1%
Sanitario	19.9%
Ducha	20.9%
Lavado de Platos	15.5%
Aseo de Vivienda	4.9%
Consumo Propio	3.9%
Lavado de Manos	3.7%
Lavado de Auto	1.5%
Riego de Jardines	1.9%
Riego de Plantas	0.6%

Fuente Ballen<sup>26</sup>, con base en datos del Departamento Nacional de Planeación

<sup>25</sup> GRANADA, Lorena. Estimación del consumo básico de agua en Colombia. Trabajo de Grado para optar al título de Economista. Universidad del Valle. Facultad de Ciencias Sociales y Económicas. Departamento de Economía. Santiago de Cali. 2011(on line). Disponible en: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/3682/4/CB-0449498.pdf>

<sup>26</sup> BALLEEN SUAREZ, Jose; GALARZA GARCIA, Miguel; ORTIZ MOSQUERA Rafael. Sistemas de aprovechamiento de agua lluvia para vivienda urbana. En Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua. Joao Pessoa (Brasil) 5 a 7 de junio de 2006.

- Precipitación pluvial neta

De acuerdo con Perales<sup>27</sup>, en el desarrollo de las infraestructuras de drenaje y saneamiento, ha dado lugar a los sistemas convencionales de saneamiento y drenaje en las ciudades, basados en colectores cuyo objetivo primordial es evacuar lo antes posible las escorrentías generadas en tiempo de lluvia hacia el medio receptor.

Mientras que para Gómez<sup>28</sup>, el proceso de transformación lluvia–escorrentía en zona urbana presenta una serie de particularidades en relación al mismo proceso en un terreno natural. El hecho urbano, la gran superficie impermeable presente y la existencia de una red de drenaje artificial con puntos localizados de entrada de agua en la red afectan a una serie de puntos del problema a resolver. Considera además el mismo autor que el primer paso de todo estudio de transformación lluvia - caudal , requiere estimar la fracción de lluvia caída que se va a transformar en escorrentía de superficie, parte que se denomina *lluvia neta*, resultante de restar de la lluvia total caída, las posibles pérdidas de precipitación que se produzcan, y dado el carácter de las cuencas de estudio (urbanas), las pérdidas de precipitación tienen un peso menor que en cuencas con terreno natural. La evapotranspiración también puede desestimarse dado el corto espacio de tiempo de estudio.

“La precipitación pluvial neta se define entonces como la cantidad de agua de lluvia que queda a disposición del sistema, una vez que se han descontado las pérdidas por factores como salpicamiento, velocidad del viento, evaporación, fricción, tamaño de gota, considerados en un coeficiente de captación, que se ha planteado del 85%, de acuerdo con la experiencia desarrollada en el CIDECALLI-CP”<sup>29</sup>.

Adicionalmente debe considerarse el Coeficiente de escurrimiento ó escorrentía. “El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo (superficie), del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores

---

<sup>27</sup> PERALES MOMPARNER, Sara;-DOMÉNECH, Ignacio. Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. 2006. p. 2 (on line). Disponible en: <http://ovacen.com/wp-content/uploads/2015/05/gestion-del-agua-en-el-planeamiento.pdf>

<sup>28</sup> GOMEZ, Manuel. Hidrología Urbana. Flumen. Barcelona. 2007. p. 75. (on line). Disponible en <http://www.hidrologia.com/wp-content/uploads/2014/04/Seminario-de-hidrolog%C3%ADa-urbana.pdf>

<sup>29</sup> ANAYA GARDUÑO, Manuel. Op. Cit.

que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía<sup>30</sup>. Según DE AZAGRA PAREDES<sup>31</sup>, corresponde a la relación (cociente) entre la escorrentía superficial y la precipitación que la provoca, y depende del tipo de precipitación (lluvia, nieve ó granizo), de su cantidad, de su intensidad y distribución en el tiempo, de la humedad inicial en el suelo (superficie) y de sus características. Puede tomar valores entre 0 y 1.

- Volumen de Cisterna

El dimensionamiento del tanque de almacenamiento, se realiza con base en la oferta de agua lluvia y la demanda de agua para suplir el uso deseado. Existen varios métodos para su cálculo, dentro de los cuales se destacan:

### Método de Rippl

Este método conocido como “método de masas” fue propuesto en 1883 por Rippl y permite estimar el almacenamiento requerido por un reservorio, generalmente es sobredimensionado, pero su utilización permite comprobar el límite superior del volumen de acumulación del depósito de aguas lluvias (Tomaz, P., 2012). Para esta metodología se emplean las precipitaciones de los 10 o 15 últimos años, incluyendo series mensuales o diarias de la precipitación en la zona:

$$S(t) = D(t) - Q(t)$$

$$Q(t) = C \times P(mm) \times \text{Area captación}$$

$$V = \sum S(t) \rightarrow \text{Solo para } S(t) > 0$$

Siendo que:  $\sum D(t) < \sum Q(t)$

En dónde:

- $S(t)$  = Volumen de agua en el reservorio, en el tiempo t.
- $Q(t)$  = Volumen de lluvia aprovechable, en el tiempo t.
- $D(t)$  = Demanda o consumo, en el tiempo t.

---

<sup>30</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico. RAS – 2000 SECCION II título d sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales. Bogotá D.C. 2010.

<sup>31</sup> DE AZAGRA PAREDES, Andres. Método de los coeficientes de escorrentía. 2006. (on line). Disponible en: <http://www.oasification.com/archivos/Coeficientes%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>

- $V$  = Volumen del reservorio, en m<sup>3</sup>.
- $C$  = Coeficiente de escurrimiento superficial.

Este método supone reservorio lleno al inicio con salida de agua constante.

### **Método de ETA 0701**

Para un dimensionamiento simplificado del tanque de almacenamiento, se propone la aplicación de la siguiente expresión:

$$V = \text{Min}(V_1, V_2)$$

$$V_1 = 0,0015 \times P \times A \times N$$

$$V_2 = 0,003 \times D \times N$$

En donde:

- $V_1$  = volumen aprovechable (litros).
- $P$  = Precipitación media anual del lugar de estudio (mm).
- $A$  = Área de captación (m<sup>2</sup>).
- $N$  = Número máximo de días de retención de agua en el tanque (en general de 20 a 30 días).
- $V_2$  = Volumen consumido (litros).
- $D$  = Demanda total de agua en el año (litros).

### **Método Práctico Inglés**

Es empleado para garantizar buena calidad del agua en el sistema (UKRHA, 2012) y se fundamenta en la siguiente expresión:

$$V = 0,05 \times C \times P \times A$$

Dónde:

- $C$  = Coeficiente de escorrentía.

- $P$  = Precipitación media anual, en milímetros.
- $A$  = Área de captación, en metros cuadrados.
- $V$  = Volumen de agua aprovechable y/o volumen del tanque, en litros.

### **Método Práctico Alemán**

Este método empírico toma el 6% del menor valor entre el volumen aprovechable de agua lluvia y el consumo para establecer el volumen del tanque (DIN 1989-1, 2001).

$$V_{adoptado} = \text{Min}(V, D) \times 0,06$$

Siendo:

- $V$  = Volumen aprovechable de agua lluvia anual, en litros.
- $D$  = Demanda anual de agua no potable, en litros.
- $V_{adoptado}$  = Volumen de agua del tanque, en litros.

### **Método de E. Villarreal y A. Dixon**

El cálculo de la estructura que almacena el agua lluvia, se basa en los conceptos creados por E. Villarreal y A. Dixon, los cuales establecen:

El volumen de almacenamiento se obtiene a partir de un algoritmo que determina un indicador de eficiencia denominado WSE (Water Saving Efficiency) y que a su vez obedecen a una relación entre la demanda total de agua lluvia y la demanda satisfecha en el periodo evaluado, bajo la siguiente expresión:

$$WSE = \frac{\sum_{t=1}^T Dt - \sum_{t=1}^T Mt}{\sum_{t=1}^T Dt}$$

Dónde:

- $P_t$  (mm) = Precipitación media mensual.
- $A_c$  (m<sup>2</sup>) = Área de Captación.
- $t$  (días) = Tiempo.
- $T$  (días) = Periodo Total de Modelación.
- $D_t$  (m<sup>3</sup>) = Demanda Total de Agua Lluvia mensual.
- $R_t$  (m<sup>3</sup>) = Volumen de agua lluvia.

- $St$  (m<sup>3</sup>) = Volumen de agua en el almacenamiento.
- $S_{max}$  (m<sup>3</sup>) = Volumen máximo de almacenamiento.
- $Wt$  (m<sup>3</sup>) = Volumen de pérdidas por excedencia.
- $Ot$  (m<sup>3</sup>) = Volumen de salida desde el almacenamiento.
- $Mt$  (m<sup>3</sup>) = Volumen de demandas no satisfechas.
- $It$  (m<sup>3</sup>) = Volumen de entrada acumulado.
- $It = (Pt-1)$ , se le resta 1 mm a la precipitación diaria ( $Pt$ ), este volumen de agua se emplea en el primer lavado de la cubierta y no se tiene en cuenta para la oferta.

El modelo calcula el volumen de agua en el almacenamiento ( $St$ ) para un intervalo de tiempo determinado a partir del volumen máximo del almacenamiento ( $S_{max}$ ), la demanda ( $Dt$ ) y el volumen de agua lluvia ( $Rt$ ) que ingresa al almacenamiento proveniente del escurrimiento de la cubierta, la unidad de tiempo propuesta en esta metodología es el día..

El indicador de eficiencia versus el volumen máximo de almacenamiento generan una curva semi logarítmica que permite determinar el volumen óptimo del tanque, pues WSE es proporcional al logaritmo natural del volumen de almacenamiento máximo. El volumen óptimo del tanque se encuentra en el punto donde la gráfica deja de ser lineal, el cual debe estar por encima del 50% WSE, para garantizar que el sistema abastezca la demanda para la cual fue diseñado, por lo menos la mitad del tiempo evaluado.<sup>32</sup>

### 3.3 Calidad y tratamiento de aguas lluvias para usos domésticos no potables

De acuerdo con UNICEF<sup>33</sup>, para 2012 millones de personas a nivel mundial empleaban el agua de lluvia como agua potable, y un incremento de casi el doble tanto en usuarios rurales como urbanos, tuvo lugar entre 1990 y 2010, pasando en el ámbito urbano de 6 a 13 millones y en el rural de 47 a 89 millones.

“Contaminantes químicos y biológicos han sido hallados en tanques de sistemas de aguas lluvias para fines domésticos, y si esta agua es usada para fines potables, puede producir efectos nocivos para la salud. Personas con compromiso del sistema inmunitario, jóvenes y ancianos, son especialmente susceptibles a enfermedades transmitidas a través del agua”.<sup>34</sup>

<sup>32</sup> FEIJO, valentina; PEREA, Andres. Op. Cit. p. 19

<sup>33</sup> UNICEF and WHO. (2012). Progress on drinking water and sanitation. 2012 Update WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Citado por De Kwaadsteniet et al . Domestic Rainwater Harvesting: Microbial and Chemical Water Quality and Point-of-Use Treatment Systems. Water Air Soil Pollut (2013) 224:1629 DOI 10.1007/s11270-013-1629-7.

<sup>34</sup> Obi, C. L., Onabolu, B., Momba, M. N. B., Igumbor, J. O., Ramalivahna, J., Bessong, P., Van Rensburg, E. J., Lukoto, M., Green, E., & Mulaudzi, T. B. (2006). The interesting cross-paths of HIV/AIDS and water in Southern Africa with special reference to South Africa. Water SA, 32, 323–343. Citado por Kwaadsteniet et al. op. cit. p 2.

Estos contaminantes pueden originarse en las gotas de lluvia que atraviesan la atmósfera (aire contaminado), en las áreas de captación y en los tanques de almacenamiento.<sup>35</sup>

En cuanto al material disuelto en el agua de lluvia por el paso de las gotas a través de la atmósfera, Romero et al.<sup>36</sup>, identifican iones inorgánicos mayoritarios ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , Fe total,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  y  $CO_3^{2-}$ ), que pueden dispersarse vía lluvia y depositarse potencialmente sobre suelo y agua superficial, pudiendo afectar los sistemas biológicos, el ambiente y a los organismos vivos.

“Los procesos predominantes de depósito por la lluvia, son las precipitaciones como tal, y el lavado de la atmósfera, ya que remueve partículas del aire y disuelven los contaminantes gaseosos”.<sup>37</sup>

Específicamente en cuanto a la influencia de los techos en sistemas domésticos (área de captación), en la calidad del agua lluvia, Abbasi<sup>38</sup> considera varios factores que afectan su inocuidad: geometría del techo (tamaño, exposición e inclinación), material del que está compuesto (características químicas, rugosidad, recubrimiento de la superficie, edad, y resistencia al clima), localización del techo (proximidad a fuentes de contaminación), e historia del mantenimiento del techo.

Por otro lado, los patógenos presentes en las heces de aves, insectos, mamíferos y reptiles pueden contaminar el agua colectada en los techos. La lluvia entonces permite a los patógenos asociados con excrementos animales y otros desechos introducirse en los tanques de almacenamiento vía canales y tuberías.

En este escenario, si el agua lluvia no tratada y colectada de los techos es usada para beber, hay un alto potencial de enfermedades para la gente que la consume. Solo hay información limitada al respecto, sin embargo, en relación con los actuales riesgos reales para la salud, asociados con el agua lluvia captada en techos, se puede postular que la magnitud de los riesgos de salud de los usos no potables podría ser mucho menor que el riesgo de beber, debido a menores niveles de exposición a los agentes patógenos. Existe gran divergencia en los resultados de los estudios sobre la calidad del agua lluvia captada en techos, que puede ser debida a la alta variabilidad encontrada de sistema en sistema (Lye, 1987, 2002, 2009), y por tanto han surgido preguntas

---

<sup>35</sup> Kwaadsteniet et al. op. cit. p. 3.

<sup>36</sup> ROMERO et al. Agua de lluvia: Calidad físico – química. En Ciudades 99, julio-septiembre de 2013 RNIU, Puebla, México. p. 43

<sup>37</sup> Huang, Y.; WANG, Y.; ZHANG, L. Long – term of chemical composition of wet atmospheric precipitation during 1986-2006 at Shenzhen City, China En Atmospheric Environment, Vol 42, 2008, p 3740-3750. Citado por Romero et al. Op. Cit p. 43

<sup>38</sup> Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2011). Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41, 2097–2167. Citado por Kwaadsteniet et al. Op. Cit. p. 6

legítimas por parte de los entes reguladores de la salud en cuanto a la calidad de estas aguas y los riesgos para la salud pública.<sup>39</sup>

No obstante, de acuerdo con Lye<sup>40</sup>, los riesgos de contaminación de aguas lluvias de techos y azoteas, parece limitado a aquellos sistemas que no tienen adecuados diseños, materiales, ni adecuados procedimientos de tratamiento o desinfección adecuada.

“Se ha sugerido que los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias deben ser apropiadamente mantenidos, incluida la limpieza de los componentes del sistema antes de los eventos lluviosos, especialmente techos y bajantes, los cuales deben limpiarse al menos dos veces por año para mejorar la calidad del agua.”<sup>41</sup>

Por ejemplo, la adición de colectores de primeras lluvias a los sistemas, puede reducir los niveles de contaminación. Un estudio en Sídney, Australia, concluye que los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, pueden proveer agua potable, que cumple con las directrices para este recurso, después de haber descartado los primeros dos milímetros de lluvia, usando un interceptor de primeras lluvias.<sup>42</sup>

El tratamiento del agua de lluvia es pues de gran importancia y pueden identificarse dos enfoques principales para tal fin. En primer lugar el agua puede ser tratada directamente en el tanque de almacenamiento del sistema. En segundo lugar, el agua captada se remueve de los tanques y es tratada separadamente.

El tratamiento del agua lluvia en comunidades rurales, especialmente en países en desarrollo, debe ser económico, simple y fácil de usar. Hervido, clorado, filtración lenta en arenas y pasteurización con tecnología solar han sido propuestos para el tratamiento de aguas lluvias. En cada caso el agua es retirada del tanque y tratada separadamente (Meera and Ahammed 2008; Helmreich and Horn 2009).

### **3.3.1 Sistemas de tratamiento conectados a los tanques de almacenamiento.**

---

<sup>39</sup> AHMED Et al. Op. cit.

<sup>40</sup> LYE, D. Rooftop runoff as a source of contamination: A review. *Science of the Total Environment* 407 (2009) 5429–5434 : *Science of the Total Environment* 407 (2009) 5429–5434. Disponible en: [http://standards.nsf.org/apps/group\\_public/download.php/18153/Lye\\_Rooftop-runoff-as-a-source-of-contamination-A-review\\_2009.pdf](http://standards.nsf.org/apps/group_public/download.php/18153/Lye_Rooftop-runoff-as-a-source-of-contamination-A-review_2009.pdf)

<sup>41</sup> Dillaha, T.A., and W.J. Zolan. 1985. An Investigation on the water quality of rooftop rainwater catchment systems in Micronesia. University of Guam . 1983. (on line). Disponible en: <http://www.weriguam.org/docs/reports/45.pdf>

<sup>42</sup> Kus, B., J. Kandasamy, S. Vigneswaran, and H.K. Shon. 2010. Analysis of first flush to improve the water quality in rainwater tanks. *Water Sci. Technol.* 61:421–428. Citado por Ahmed, W. Op. Cit p.19

Prevenir de la entrada de suciedad al tanque por medio de filtros y pantallas es una primera medida para mejorar la calidad del agua lluvia contenida en él. La suciedad que se colecta sobre las áreas de captación no solo es fuente de contaminantes químicos, sino que también sirve de fuente de nutrientes para la sobrevivencia y el desarrollo de bacterias. Una pantalla para retener hojas, ó un filtro fino pueden ser empleados de manera efectiva en cualquier punto entre el tejado y la entrada del agua lluvia al tanque de almacenamiento para detener la suciedad y al hacerlo, se impide que los contaminantes entren al tanque. Es imperativo sin embargo que el filtro pueda soportar alta intensidad de lluvia, mientras retiene eficientemente las partículas de suciedad provenientes del techo. Además es recomendable que el filtro sea durable, fácil de limpiar y económico. Abbasi and Abbasi 2011

### **3.3.2 Desvío del primer flujo.**

EL primer flujo de agua lluvia captada tiene una alta concentración e contaminantes debido al lavado de las partículas que se han depositado sobre la superficie del techo (Yaziz et al. 1989). Mediate la eliminación del primer flujo de agua lluvia del evento lluvioso, la calidad el agua lluvia captada puede mejorarse. Los colectores de primeras lluvias operan de manera automática y son fáciles de instalar. Otro beneficio de estos dispositivos es que reducen la necesidad de mantenimiento del tanque (Helmreich and Horn 2009). Los sistemas de interceptación de primeras lluvias pueden ser también equipados con filtros de fibras para remover partículas y nutrientes tales como fosfatos y nitrógeno. (Kim et al. 2007)

### **3.3.3 Aplicación de tanques de sedimentación, desinfección y filtración de membrana para el tratamiento de agua de lluvia recolectada.**

Sistemas de desinfección, combinados con sistemas de filtración-desinfección han sido investigados. El uso de iones antimicrobianos de plata combinados con tanques de sedimentación y filtración convencional ha sido evaluada por Adler et al. (2011).

El sistema esta ilustrado en la figura 2. y consiste en un tanque de sedimentación de 450 L, un tanque cisterna, un filtro de acero inoxidable, una unidad de ionización de plata y un filtro rellenable que contiene una mezcla de carbón granular activado y un medio de filtración de flujo cinética de degradación. Nueve de estos sistemas fueron instalados y evaluados en entornos rurales en Mexico. Los sistemas de tratamiento fueron capaces de reducir los coliformes totales entre 62.5 y 99.9%. El tanque de sedimentación que sirve como colector de primeras aguas redujo la demanda química de oxígeno DQO en 77%. EL sistema de tratamiento de filtrado redujo la DQO alrededor de un 41%, aunque la sedimentación adicional en el tanque pudo haber jugado un rol importante. Los investigadores recomendaron que la rutina de limpieza del sistema de tratamiento fue vital para el tratamiento efectivo del agua lluvia. Actualmente , el papel los iones anti microbiales de plata en los sistemas de desinfección esta siendo

evaluado a nivel de laboratorio junto a otros avances para mejorar la eficiencia del proceso (Adler et al. 2011).

### 3.3.4 Filtración con carbón granular activado

Este material también puede ser empleado en tratamiento de agua de lluvia. El carbón activado tiene una gran superficie de área, la cual permite remover los contaminantes microbiológicos y químicos. Un sistema a escala de laboratorio y basado también en membranas de filtración fue desarrollado por by Areerachakul et al. (2009). El prefiltro consistió de carbón activado granular y fue usado para remover sólidos orgánicos disueltos SOD. Después de la formación inicial de una capa biológica en el carbón activado, la eficiencia de remoción de COD fue de 40, 35 y 15% para profundidades de cama(lecho) filtrante de 15, 10 y 5 centímetros respectivamente. EL efluente fue tratado con una membrana de microfiltración de fibra hueca con un tamaño de poro de 0,1  $\mu\text{m}$ . Lamicrofiltración sola redujo la DQO solamente en un 10%, comparada con 45 a 50% cuando se uso en combinación con el tratamiento de microfiltración por biofiltro, sin embargo, removió todas las bacterias heterotróficas presentes en el agua de lluvia. El biofiltro también mostro un decremento de la cotaminación biológica en el sistema de microfiltrado (Areerachakul et al. 2009).

### 3.3.5 Cloración.

La cloración del agua de lluvia es un método común y barato de desinfección. EL cloro libre inactiva la mayoría de patógenos transmitidos por el agua, siendo la excepción los ooquistes de *Cryptosporidium parvum* and *mycobacteria* spp. (Sobsey 1989). Es recomendable clorar el agua después de que ha sido removida de la cisterna, ya que el cloro puede reaccionar con los materiales orgánicos presentes en el lodo asentado en el fondo del tanque y formar compuestos peligrosos (Gordon et al. 1995). La dosis recomendada para la cloración del agua es de 0.4–0.5 mg/L. de cloro libre por almenos 15 minutos. Investigadores en Grecia trataron exitosamente carrotanques que fueron usados para distribuir agua a los consumidores. Sin embargo debe tenerse cuidao con el almacenamiento del agua tratada para evitar su recontaminación(Sazakli et al. 2007). La limpieza rutinaria de los sistemas de recolección también es recomendada(Dillaha and Zolan 1985).

### 3.3.6 Filtración lenta con arenas.

Es un método usado especialmente en países en desarrollo, ya que es simple y económico. Los filtros lentos de arena, también conocidos como biofiltros de arena, consisten de capas de arena de diferente tamaño, con la fracción mas gruesa en el fondo y la mas fina arriba. Una fina capa biológica en la superficie del filtro es responsable de la eficiencia del filtro y por consiguiente, este funciona como un

tratamiento biológico así como un filtro físico. Un flujo constante de agua a través del filtro es esencial para que un filtro de este tipo funcione efectivamente (Fewster et al. 2004).

Investigaciones han demostrado que estos sistemas de filtrado son inefectivos para remover virus del agua, aunque entre 81-100% y 99.98 -1 100% de remoción de bacterias y protozoarios respectivamente se ha observado (Peters-Varbanets et al. 2009). La arena también puede ser recubierta para mejorar la funcionalidad del filtro, mejorando la remoción de bacterias y metales pesados. Se ha investigado un filtro doble consistente de arena recubierta de óxido de manganeso e hidróxido de hierro (Ahammed and Meera 2010). La arena recubierta de dióxido de manganeso ha mostrado que es capaz de remover metales pesados del agua. (Liu et al. 2005), mientras que la recubierta de óxido de hierro remueve microorganismos y turbidez (Ahammed and Chaudhuri 1996; Chen et al. 1998; Lukasik et al. 1999; Ahammed and Meera 2006). El filtro doble remueve el 99% de bacterias y 96 p% de zinc del agua de lluvia captada en techumbres. No se ha observado lixiviación de hierro o manganeso durante el periodo de filtración. La eficiencia del filtro doble también fue grande cuando se comparó con arena recubierta de hidróxido de hierro y con arena no recubierta. (Ahammed and Meera 2010).<sup>43</sup>

---

<sup>43</sup> De Kwaadsteniet, M. et al. Op. Cit. p. 11-14

## 4. RESULTADOS

A diferencia de un buen número de investigaciones a nivel nacional que descansan en los repositorios y anaqueles, en las cuales se evaluó a nivel de factibilidad técnica y/o económica la implementación de SCALL, bien para consumo humano o usos no potables, pero nunca se llegó a materializar proyecto alguno, en el presente trabajo se parte por el contrario de la certeza de su implementación plenamente justificada en el apartado respectivo.

De tal suerte, el constructo metodológico y la consecución de resultados vira del plano inductivo propio de los trabajos de grado clásicos, a un enfoque necesariamente deductivo, dado que varios de los elementos y condiciones de hecho preexisten y no son solo suposiciones teóricas

La residencia objeto de la implementación del SCALL se ubica en la localidad de Kennedy, Barrio Villa Alsacia, centro occidente de la ciudad de Bogotá D.C.

### 4.1. Diseño y adecuación

Se partió de la existencia de infraestructura in situ, específicamente del sistema de cubierta (tejado) de la residencia, así como de las canales y bajantes para la evacuación del agua lluvia hacia el sistema de alcantarillado. Teniendo esto en cuenta se determinaron los siguientes factores:

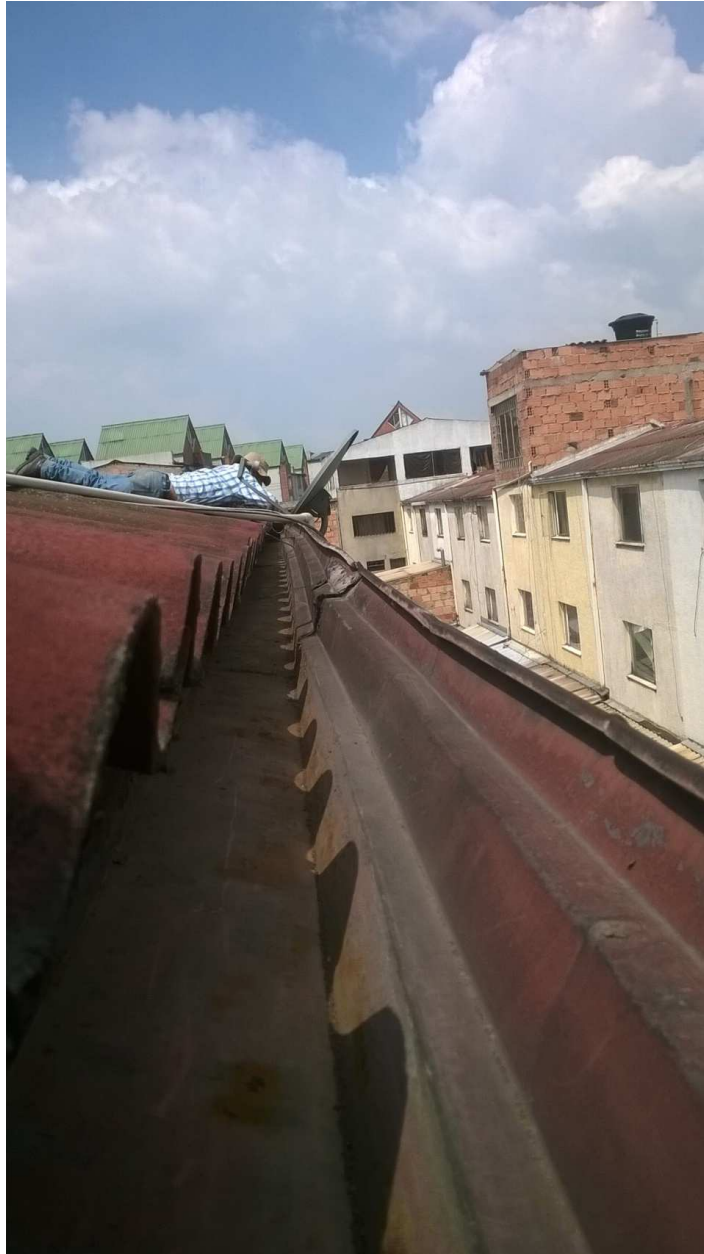
#### 4.1.1 Area efectiva de captación.

Se efectuó no solo la medición de la proyección horizontal del área de cubierta que drena a las canales y bajantes, que técnica y económicamente es fue posible interceptar para alimentar el sistema, sino que también se valoró el tipo de material, su estado y se ejecutaron las adecuaciones y mantenimientos necesarios para su optimización.

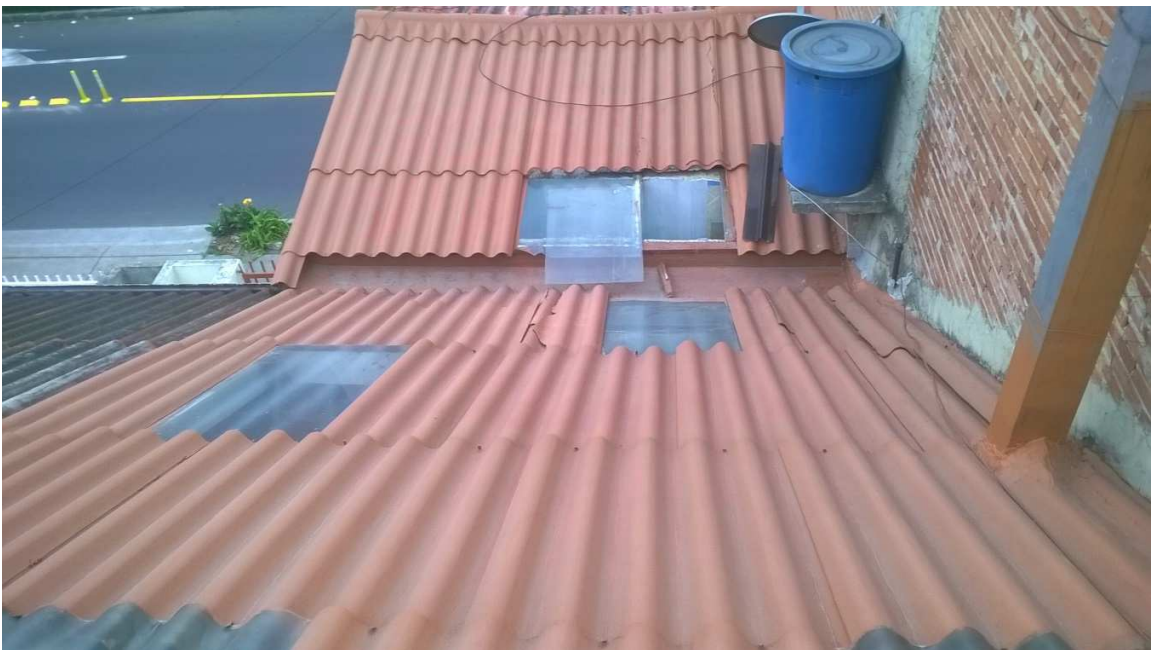
Se obtuvo un área efectiva de captación de  $72 \text{ m}^2$ , consistente de cubierta de teja tipo eternit, sobre la cual se realizaron labores de limpieza para retirar algas y

líquenes y posteriormente tratamiento con pintura elastomérica de alto desempeño para mejorar tanto la inocuidad de la superficie como el coeficiente de escurrentía.

Fotografía No. 1 Mantenimiento de canales



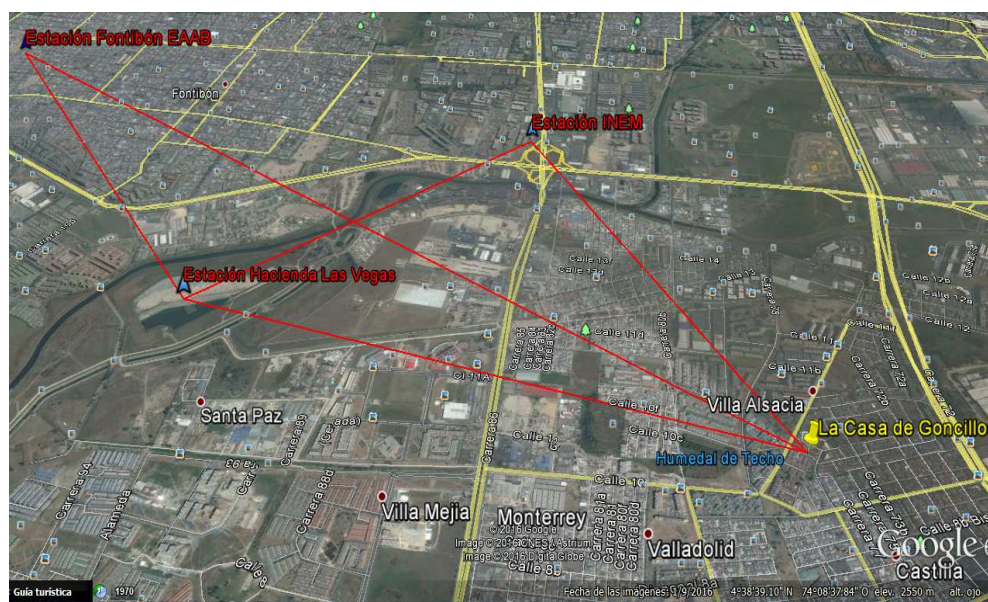
Fotografías No. 2 y 3 Acondicionamiento cubierta (área de captación)



#### 4.1.2 Precipitación neta

De acuerdo con el mapa de estaciones climatológicas del IDEAM, se ubicó la estación más cercana a la residencia, a saber Inem Kennedy a 2,03 Km. al noroeste. Debido a la ausencia de varios datos en la misma y dada la necesidad de tratar con un grado de rigurosidad aceptable la información de precipitaciones, se hizo necesario acceder de igual manera a la información de dos estaciones auxiliares con el fin de completar por métodos matemáticos los datos de la estación principal en mención. Las estaciones auxiliares para tal fin son: Hacienda Las Vegas, a 2,4Km. al oeste y la estación Fontibón a 4,62 Km en dirección noreste, esta última de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB.

Figura 1. Ubicación de la residencia y de las estaciones de trabajo

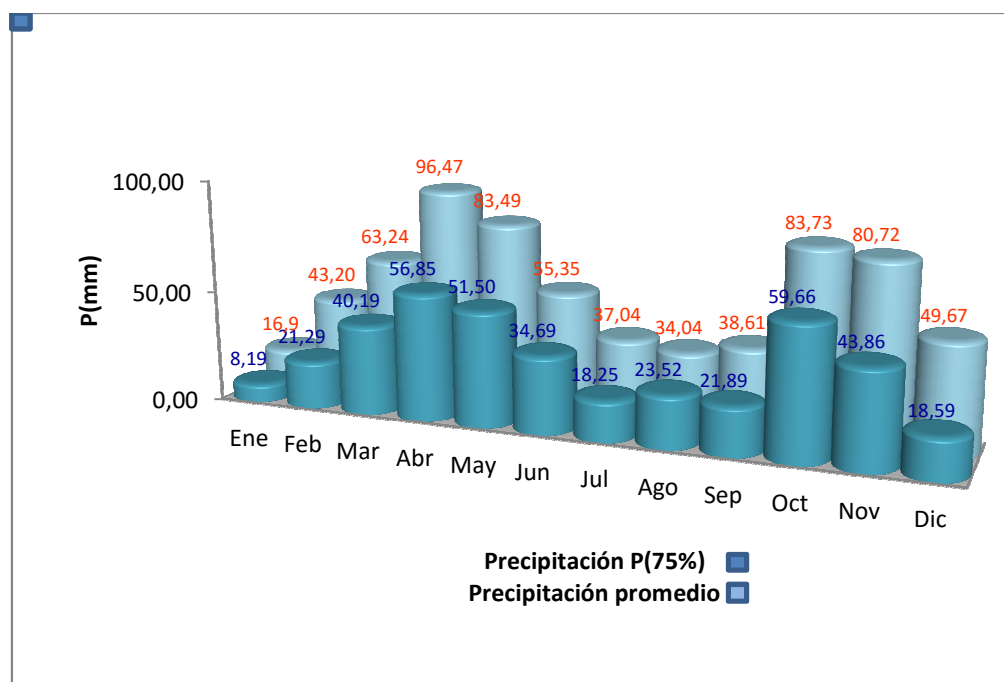


Se obtuvieron de este modo datos normalizados de precipitaciones mensuales multianuales de la estación principal, para un periodo de 17 años, entre 1999 y 2015.

Con el fin de trabajar con precipitaciones mensuales más probables de ocurrir que la media aritmética y de este modo no sobre estimar la oferta de precipitación, se calcularon las precipitaciones con probabilidad de

ocurrencia de 75%, con base en el método propuesto por Critchley y Siegert (1996)<sup>44</sup> y Veenhuizen (2000)<sup>45</sup>

Grafico No 2. Promedios Vs Probabilidad 75% de lluvias mensuales, estación Inem Kennedy para 17 años (1999-2015)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de IDEAM Y EAAB

Como puede apreciarse en el gráfico, las precipitación media para cada mes es mucho mayor que la precipitación con probabilidad de 75%, pero precisamente esta última tiene mayor chance de acaecer realmente, con lo cual se logra no sobredimensionar inútilmente la cantidad de lluvia efectiva esperada en cada periodo. Esto último resulta de gran importancia en el diseño del componente de almacenamiento del sistema.

<sup>44</sup> CRITCHLEY, Will; SIEGERT, Klaus. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo I: Bases Técnicas y Experiencias en África y Asia. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 1996. (Serie Zonas Áridas y Semiáridas 11). Citado por FAO, 2013.

<sup>45</sup> VEENHUIZEN, René Van. Revisión de bases técnicas. En: FAO. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13. PNUMA-Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 2000, p. 06-24., Citado por FAO, 2013

Habiendo obtenido entonces precipitaciones mensuales con al menos un 75% de probabilidad de ocurrencia, y tomando un coeficiente de escorrentía de 0,9 para la superficie de la cubierta (similar al de geomembranas de PVC), ya que la pintura elastomérica virtualmente le confiere un carácter impermeable a las tejas, lo cual favorecido con la inclinación de la cubierta acerca el coeficiente bastante a 1, se calculó entonces la precipitación neta en m<sup>3</sup> con la que contará el sistema mes a mes, teniendo en cuenta el área efectiva de captación de 72 m<sup>2</sup>, por medio de la expresión:

$$P_n = (C_e \times P_{75} \times 72) / 1000$$

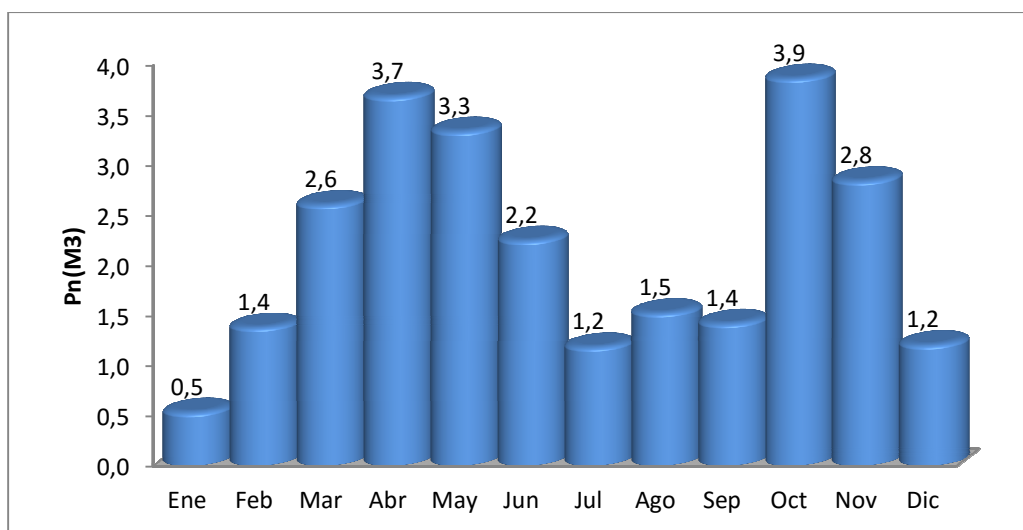
En donde:

P<sub>n</sub> es la precipitación neta.

C<sub>e</sub> es el coeficiente de escorrentía

y P<sub>75</sub>, es la precipitación con 75% de probabilidad

Grafico No 3 .Precipitación neta esperada con un 75 % de probabilidad (cantidad de agua lluvia efectiva que entrará al sistema mensualmente)



#### 4.1.3 Interceptor de primeras lluvias

Asumido un valor de  $1\text{mm/m}^2$  ( $1\text{L/m}^2$ ) de lluvia necesario para arrastrar el grueso de suciedad de la cubierta al inicio de cada evento lluvioso, de acuerdo con la revisión bibliográfica sobre el tema, se obtuvo entonces un volumen requerido de interceptación de primeras lluvias de 72 litros.

Ya que el área efectiva de captación drena en dos vertientes diferentes de acuerdo con la forma de la cubierta y las necesidades a suplir, este volumen se ha distribuido en dos de acuerdo con cada vertiente, uno de 34 litros, que drena la parte anterior de la cubierta y otro de 38 litros que drena la parte posterior de ésta.

Fotografía No. 4 Interceptor de primeras lluvias de la parte anterior de la cubierta.



#### 4.1.4 Filtro de sedimentos

Habiendo evaluado la disponibilidad espacial y la facilidad de mantenimiento periódico, se optó por instalar un filtro de anillos en pvc, a la salida del tanque elevado que capta el agua de la cubierta posterior de la vivienda, para de esta manera obtener agua más limpia con destino al lavado de ropas.

#### 4.1.5 Demanda de agua potable para los usos de interés y peso relativo

Se estableció inicialmente un consumo medio global histórico para la residencia con base en datos suministrados por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá E.A.A.B. para los últimos 60 meses.

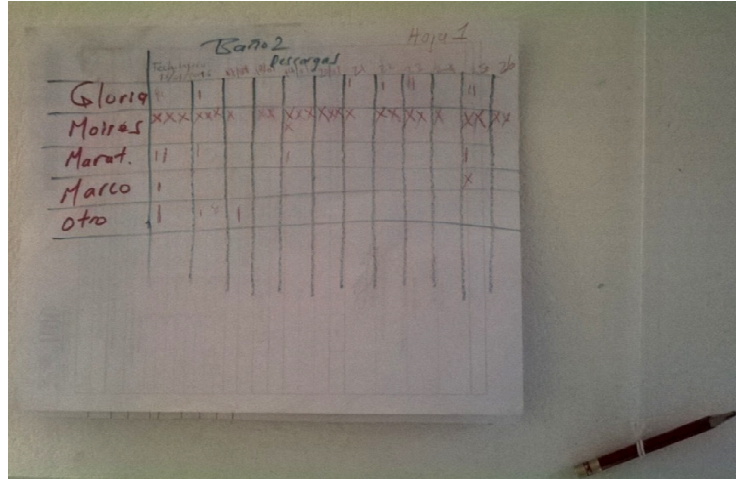
Cuadro No. 3 . Registro de promedios históricos bimensuales de consumo en la residencia, de acuerdo con datos suministrados por la E.A.A.B. entre el 8 de agosto de 2010 y el 20 de noviembre de 2015.

Visualizar Consumo Promedio Histórico							
Aparato	Número Lógico Numerador	Fecha Inicial	Fecha Final	Consumo Vigencia	Código Consumo	Consumo Promedio Historico	Vigencia
11-1289917	403160	22.09.2015	20.11.2015	16	01	17	V201506
11-1289917	403160	24.07.2015	21.09.2015	16	01	16	V201505
11-1289917	403160	24.05.2015	23.07.2015	17	01	19	V201504
11-1289917	403160	26.03.2015	23.05.2015	17	01	19	V201503
11-1289917	403160	24.01.2015	23.03.2015	21	01	16	V201502
11-1289917	403160	26.11.2014	23.01.2015	18	01	17	V201501
11-1289917	403160	27.09.2014	24.11.2014	18	01	17	V201406
11-1289917	403160	30.07.2014	26.09.2014	11	01	20	V201405
11-1289917	403160	31.05.2014	29.07.2014	22	01	19	V201404
11-1289917	403160	01.04.2014	30.05.2014	18	01	18	V201403
11-1289917	403160	31.01.2014	31.03.2014	20	01	17	V201402
11-1289917	403160	03.12.2013	30.01.2014	10	01	17	V201401
11-1289917	403160	03.10.2013	02.12.2013	16	01	10	V201306
11-1289917	403160	03.08.2013	02.10.2013	17	01	19	V201305
11-1289917	403160	05.06.2013	02.08.2013	19	01	19	V201304
11-1289917	403160	05.04.2013	04.06.2013	19	01	18	V201303
11-1289917	403160	03.02.2013	04.04.2013	19	01	18	V201302
11-1289917	403160	06.12.2012	02.02.2013	18	01	19	V201301
11-1289917	403160	06.10.2012	03.12.2012	18	01	19	V201206
11-1289917	403160	07.08.2012	05.10.2012	18	01	20	V201205
11-1289917	403160	08.06.2012	06.08.2012	20	01	21	V201204
11-1289917	403160	10.04.2012	07.06.2012	18	01	21	V201203
11-1289917	403160	09.02.2012	09.04.2012	23	01	20	V201202
11-1289917	403160	10.12.2011	08.02.2012	23	01	18	V201201
11-1289917	403160	10.10.2011	09.12.2011	18	01	19	V201106
11-1289917	403160	10.08.2011	09.10.2011	20	01	19	V201105
87AB149311	403160	09.06.2011	09.08.2011	21	01	19	V201104
87AB149311	403160	08.04.2011	08.06.2011	18	01	18	V201103
87AB149311	403160	07.02.2011	07.04.2011	19	01	18	V201102
87AB149311	403160	06.12.2010	06.02.2011	19	01	18	V201101

El promedio de consumo bimensual para el periodo en mención de acuerdo con los datos del cuadro anterior arrojó un valor de  $18,5\text{m}^3$ . Por lo tanto, a nivel mensual el promedio es de  $9,25\text{m}^3$ .

Por otro lado se determinó el consumo mensual para los usos a suplir, empleando planillas de registro diario en cada unidad sanitaria, así como para el lavado de ropas.

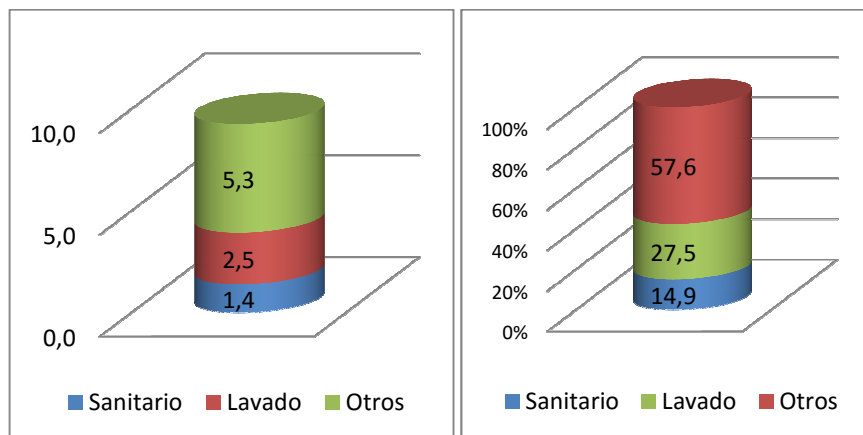
Fotografía No.5. Planilla casera para registro diario de descargas por cada baño.



El registro se efectuó durante un periodo de 62 días, entre el 15 de enero y el 16 de marzo de 2016.

Se consignaron 459 descargas de sanitario, con un consumo para el periodo de 2,75m<sup>3</sup>, mientras que para el lavado de ropas se estimó un consumo de 5,07m<sup>3</sup> correspondientes a 35 registros de uso. De modo que a nivel mensual se obtuvieron valores para descarga de sanitarios y lavado de ropa, de 1,38 y 2,54 m<sup>3</sup> respectivamente, para un total de consumo entre ambos usos, de 3,92m<sup>3</sup>.

Gráficos Nos. 4 y 5. Consumo domiciliario mensual para descarga de sanitarios, lavado de ropa y otros usos, en metros cúbicos y peso porcentual respectivamente.



#### 4.1.6 Volumen tanque almacenamiento.

Se ha abordado este parámetro del sistema desde dos perspectivas, la primera teórica, consistente en tratar de determinar el volumen máximo teórico de almacenamiento requerido y la otra en términos prácticos, consisten en alcanzar al máximo dicho volumen de acuerdo con la factibilidad espacial y económica en la casa.

Para la primer parte se optó por un método de dimensionado funcional para el depósito, descartando el resto de métodos consignados en la parte teórica, debido a que estos últimos buscan simplificar el cálculo de las cisternas empleando básicamente datos de precipitación media anual, el área efectiva de captación, y el coeficiente de escurrimiento, con lo cual muchas veces se sobredimensiona el depósito y no se tiene en cuenta la demanda periódica, así como los meses en que el aporte de lluvia no alcanza para cubrirla.

Por tanto empleando el método de Dixon<sup>46</sup>, que establece que para cada intervalo de cálculo  $\Delta t$  se realiza un balance entre el volumen entrante en ese instante,  $P_t$ , y el saliente,  $Q_t$ . El volumen almacenado en el depósito en un instante,  $V_t$ , es el volumen en el instante anterior más la aportación instantánea menos la demanda instantánea.

$$V_t = V_{t-1} + (P_t - Q_t)$$

Por tanto, el volumen del depósito  $V_D$  será igual a la diferencia entre los volúmenes máximo y mínimo acumulados en el tanque durante todo el periodo.

$$V_D = \text{máx}V_t - \text{Min}V_t$$

Para este caso el  $\Delta t$  se consideró como cada uno de los meses del año, empleando las precipitaciones medias mensuales multianuales, castigadas con el coeficiente de escurrimiento de 0,9 mientras que el volumen saliente corresponde a la demanda mensual para los usos a cubrir, que se ha tomado como constante para todos los meses.

---

<sup>46</sup> DIXON, A., BUTLER, D. and FEWKES, A. Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination. *Water Science and Technology*. Vol. 39, No. 5, 1999, pp. 25-32., citado por **Lopez et al, 2011**.

De tal suerte se obtuvo un volumen de depósito de 4,1 m<sup>3</sup>, correspondiente entonces al valor teórico máximo del depósito.

Por otra parte el volumen efectivo de depósito alcanzado, como se menciono anteriormente está condicionado por la disponibilidad espacial en la residencia y la viabilidad técnica y económica de las obras para su ampliación. En tal sentido se ha alcanzado un volumen de 3,2 m<sup>3</sup>, repartido en dos tanques enterrados de 1m<sup>3</sup> cada uno, y dos tanques elevados, uno en el patio de ropas, con capacidad de 0,7m<sup>3</sup> y el otro sobre la cubierta de la casa, con 0,5m<sup>3</sup>.

Fotografía No. 6 Batería de tanques (cisterna) enterrados en el patio.



#### **4.1.7 Bombeo y alimentación de sanitarios.**

Para recibir el agua lluvia proveniente de los tanques enterrados y cuyo destino es alimentar los sanitarios, se implementó un tanque elevado de 500L. sobre el techo de la casa , específicamente en el tercer nivel, el cual recibirá el agua lluvia por medio de una bomba periférica de  $\frac{1}{2}$  hp y distribuirá el líquido a los sanitarios por gravedad a través de una tubería alterna a la del agua potable en pvc hidráulico de  $\frac{1}{2}$ ".

#### **4.1.8 Sistema de válvulas.**

Dada la estacionalidad de las precipitaciones, y de acuerdo con el análisis de precipitaciones, hay meses de déficit de agua lluvia, por tanto se ha implementado una derivación que permite alimentar el sistema de sanitarios con agua potable de la red pública durante estos periodos. Para tal fin se instalará una válvula de cortina que impida el flujo del agua lluvia dentro de la red potable, pero que a su vez permita el flujo del agua potable hacia el tanque elevado cuando no exista la posibilidad de emplear el agua lluvia para tal fin. De igual manera la tubería tendrá otra válvula para evitar el golpe de ariete y con esto, el posible daño de la tubería de admisión y la válvula de pie que alimenta el sistema desde el tanque subterráneo.

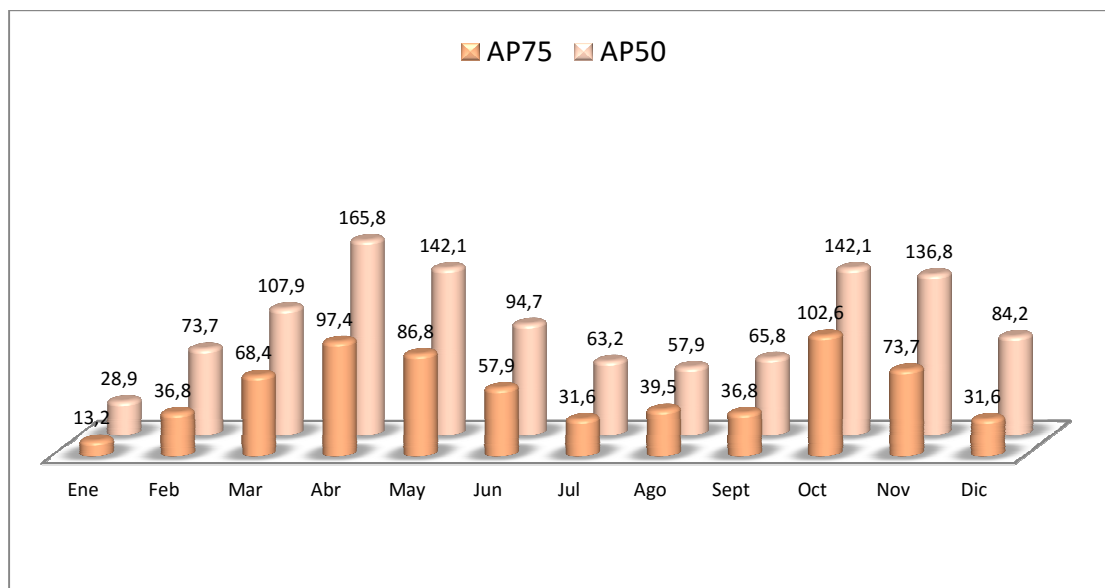
### **4.2. Niveles potenciales de ahorro agua potable**

De acuerdo con los datos obtenidos de consumo típico de agua potable para los usos de descarga de sanitarios y lavado de ropas, se tiene un consumo anual para tales fines, de  $45\text{m}^3$ . Por otro lado los niveles anuales de disponibilidad de agua lluvia en el sistema para suplir estos usos, oscila entre 25,8 y  $44,2\text{m}^3$ , para probabilidades de precipitación mensual multianual del 75% y 50%(promedio) respectivamente.

Esto quiere decir que dependiendo del comportamiento de las lluvias, es decir si se comportan mas típicamente hacia el promedio mensual multianual, se obtendrían valores potenciales medios de ahorro anual de agua potable de hasta un 96,9%, mientras que si el comportamiento tienda a niveles de mayor probabilidad i.e. un 75%, el nivel de ahorro medio potencial rondaría un 56,6%.

En términos mensuales, se aprecian picos superiores al 100% de ahorro tanto para precipitaciones p50, como p75.

Gráfico No. 6 Porcentajes mensuales de ahorro de agua potable para descarga de sanitarios y lavado de ropas para probabilidades de precipitación de 50 y 75%.



#### 4.3 Costos de implementación del sistema.

El cuadro siguiente contiene la relación de costos por implementación del sistema, presentados por cada componente, apreciándose el peso relativo que tiene el componente de depósitos de depósitos (cisternas) tanto en materiales como en mano de obra, seguido de las labores y materiales necesarias para efectuar la conducción, esto es la distribución del agua lluvia recolectada a los aparatos (sanitarios) y lavadora.

Cuadro No. 4. Costos de implementación del sistema por componentes.

RUBROS	COMPONENTES DEL SISTEMA			
	CAPTACION	INTERCEPTACION Y CONDUCCION	ALMACENAMIENTO	DISTRIBUCIÓN
<b>MANO DE OBRA</b>				
Instalación hidráulica alterna baños				300.000
Excavación cisternas			400.000	
Instalación tanques elevados			100.000	
Adecuación cubierta y canales	300.000			
Interceptor primer flujo		100.000		
<b>MATERIALES</b>				
Pintura y accesorios mtto cubierta	313.700			
Tanques plástico HDPE enterrados (2) (cisterna) 1000L			250.000	
Tubería aguas lluvias, accesorios y soldadura PVC		211.200		
Tanque plástico elevado HDPE 500L			85.000	
Tanque plástico elevado 500L			150.000	
Bomba periférica 1/2 HP				200.000
Filtro de anillos 3/4"				70.000
Tubería Y ACCESORIOS PVC agua potable 1/2"				112.000
Válvulas (2) de cortina 1/2"				50.000
Válvula de pie 1/2"				12.000
<b>SERVICIOS</b>				
Recolección de escombros			45.000	
<b>TOTAL COMPONENTES</b>	<b>613.700</b>	<b>311.200</b>	<b>1.030.000</b>	<b>744.000</b>
<b>TOTAL SISTEMA</b>				<b>2.698.900</b>

## 5. CONCLUSIONES

- La normativa al respecto del uso del agua lluvia y su promoción en el país como sucedáneo del agua potable, es sucinta por no decir que inexistente, limitándose a considerar el recurso como agua de carácter público (Artículo 5 del decreto 1541 de 1978, reglamentario del código de los recursos naturales) y se menciona tangencialmente como uno de los componentes de gestión del recurso a tener en cuenta en la formulación de los Programas para uso eficiente y ahorro del agua en los planes ambientales de carácter regional y municipal (artículos 1 y 2 de la ley 373 de 1997).
- Como reflejo de la situación anterior, el estado del arte en cuanto a la implementación de SCALL tanto a nivel rural como urbano en Colombia es insípido y bastante atomizado, en contraste con el avance normativo y la implementación en otras latitudes, que para el caso específico de las ciudades, ha virado completamente de la canalización y evacuación de las lluvias, a la implementación de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenibles.
- Independientemente de los niveles de ahorro económico, se aprecian niveles de ahorro en la cantidad de agua potable, bastante significativos mediante la implementación del sistema, alcanzando picos de hasta 96% para los meses más lluviosos, incluso considerando precipitación con una probabilidad del 75%(p75%). Por otro lado si se consideran precipitaciones medias mensuales multianuales (p50%), los porcentajes de ahorro alcanzan para los meses de mas lluvia entre un 140 y un 160%, es decir que hay excedencia para cubrir los meses con menos lluvia.
- Atendiendo el anterior análisis, se esperaría en el más conservador de los escenarios, un ahorro de agua potable para los usos en cuestión mediante el funcionamiento del sistema, de un 56%, considerado bastante significativo, especialmente si se considera el volumen de agua no desde el punto de vista económico, sino ambiental y ecológicamente, en un contexto de cambio climático global y escasez del recurso.
- El componente de almacenamiento es uno de los de mayor peso en cuanto al costo del sistema, bien sea que se trate de cisternas(reservorios enterrados) o de tanques elevados, ya que ambos casos comportan la ejecución de obras onerosas en la vivienda. Este punto plantea una discusión interesante sobre quizá nuevas arquitecturas y modelos constructivos mas sostenibles, especialmente en

conjuntos habitacionales, en los cuales deberían preverse los espacios para este tipo de obras.

- El mantenimiento del área de captación, la protección de canales y la implementación de interceptores de primer flujo son indispensables para mejorar la calidad del agua colectada, de modo que a pesar de que se dedique a usos no potables, baje la carga contaminante, especialmente de sólidos y materia orgánica.
- El costo total de implementación del sistema redondea dos millones setecientos mil pesos (\$2'700.000), monto que a primera vista puede resultar alto, pero visto en el contexto por ejemplo de que la tendencia de consumo de agua en Bogotá, es que los estratos con más capacidad de pago son los que más agua potable consumen, pone la discusión en el plano de la conciencia y educación ambientales.

## 6. RECOMENDACIONES

- El empleo de agua lluvia como sucedáneo del agua potable en el ámbito de las grandes ciudades debería ser una política pública, de la misma manera en que por ejemplo se plantea austeridad financiera y ahorro de energía.
- No existe en Colombia una entidad pública o privada, que lidere la investigación tanto en el tema de SUDS, como en el de SCALL, cuando ambos temas podrían ser cruciales para mitigar e incluso resolver problemas atinentes a la dinámica del recurso hídrico en la ciudades, desde su escasez, hasta las inundaciones.
- Se recomienda realizar nuevas investigación(es)-acción(es) y dar continuidad a otras, profundizando en el temas que por el momento limitan el uso del agua lluvia para otros fines, tales como sistemas de tratamiento in situ, filtrado y purificación, por ejemplo en edificios públicos verdaderamente inteligentes, escuelas, colegios y hospitales.
- Así como para el ahorro de energía, recién el gobierno ha establecido incentivos monetarios deducibles en el pago, esta podría ser una herramienta de política económica a mediano plazo, interesante para cubrir parcialmente los costes de la implementación de SCALL(s) a nivel de conjunto residenciales en donde las áreas comunes de captación son considerables y existen de igual manera espacios comunes de cierta amplitud para la potencial ubicación de depósitos.
- Es indispensable la toma de conciencia ambiental y ecológica en general ante la encrucijada no solo ambiental de nuestro tiempo. Esto para todos los recursos naturales renovables o no, pero en el caso particular del agua lluvia, debería comportar para los habitantes de las ciudades, dejar de percibirla como un obstáculo del cual hay que guarecerse y canalizar a la calle o la alcantarilla más próxima, lo más rápido posible, y entenderlo y percibirlo como el fenómeno natural que es, acaeciendo eones antes de la primer construcción humana.

## BIBLIOGRAFÍA

- AHMED, W.; GARDNER, T.; TOZE, S. Microbiological quality of roof-harvested rainwater and health risks: A review. En: Journal of Environmental Quality 0.1 (Jan/Feb 2011): p. 13-21.  
Disponible en:  
<http://search.proquest.com/docview/848723075/76ECDBC6088B49A5PQ/31?accountid=15412>
- AMERICAN SOCIETY OF PLUMBING ENGINEERS. Rainwater Harvesting Systems Design. En: Consulting - Specifying Engineer. Noviembre 2011. Disponible en:<http://search.proquest.com/docview/1023364723?accountid=15412>
- ANAYA GARDUÑO, Manuel. Captación del agua de lluvia : solución caída del cielo. Editorial: México : BBA. Biblioteca Básica de Agricultura, 2011. p. 49
- ANGELAKIS Andreas; DE FEO, Giovanni; LAUREANO, Pietro; ZOUROU, Anastasia. Minoan and Etruscan Hydro - Technologies. p. 972. En: Water 2013, 5, 972-987; doi:10.3390/w5030972.  
Disponible en: [www.mdpi.com/2073-4441/5/3/972/pdf](http://www.mdpi.com/2073-4441/5/3/972/pdf)
- ARANGO, Nathalie; FLOREZ, Juliana. Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el abastecimiento de agua potable a los habitantes del Pacífico Colombiano en zonas rurales de difícil acceso con ausencia o deficiencia del recurso. Tesis de grado. Universidad ICESI. Facultad de ingeniería Departamento de diseño Cali 2012. 94 p
- AVELLA, F. (2001). Dificil Balance Población Recursos: El caso del agua en San Andrés, Isla, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede San Andrés. Policopiado, citado por PACHECO MONTES, Margarita. Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIAL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de "Lluviati" en México. En Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, año 2008. No. 3. p 44. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7060/pacheco.pdf>
- BALLEN SUAREZ, Jose; GALARZA GARCIA, Miguel; ORTIZ MOSQUERA Rafael. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. En Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua. Joao Pessoa (Brasil) 5 a 7 de junio de 2006.
- BALLEN SUAREZ, Jose; GALARZA GARCIA, Miguel; ORTIZ MOSQUERA Rafael. Sistemas de aprovechamiento de agua lluvia para vivienda urbana. En Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua. Joao Pessoa (Brasil) 5 a 7 de junio de 2006.
- CHIDAMBA, Lizyben; KORSTEN, Lise. Antibiotic resistance in Escherichia coli isolates from roof-harvested rain water tanks and urban pigeon faeces as the likely source of contamination. En: Environmental Monitoring and Assessment 187.7 (Jul 2015): p. 1-15.  
Disponible en :  
<http://search.proquest.com/docview/1695964317/B7C82CF245C240F9PQ/28?accountid=15412>
- DE AZAGRA PAREDES, Andres. Método de los coeficientes de escorrentía.2006.(on line). Disponible en: <http://www.oasification.com/archivos/Coefficientes%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. Determinación del consumo de agua potable en Colombia. 1991, citado por JUNCA SALAS Juan Carlos. Determinación del consumo básico de agua potable subsidiable en Colombia. Tesis de Maestría en economía. Bogotá. Universidad Javeriana. Facultad de Economía, 2000. p.14.
- DILLAHA, T.A., ZOLAN,W.J. 1985. An Investigation on the water quality of rooftop rainwater catchment systems in Micronesia. University of Guam . 1983. (on line).  
Disponible en: <http://www.weriguam.org/docs/reports/45.pdf>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Captación y Almacenamiento de Agua Lluvia. Opciones técnicas para la Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. 2013.

FEIJO, valentina; PEREA, Andres. Aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable en la universidad del Valle sede Meléndez. Tesis de grado Ingeniería Civil. Universidad del valle Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil y Geomática. Santiago de Cali 2014. 78 p.  
Disponible en: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/8507>

GERFOR. Avanzando hacia el desarrollo sostenible. Reutilización del agua lluvia. En:Revista del Agua (on line) (citado el 08/01/2016).

Disponible en:

<http://www.gerfor.com/index.php/gerfor-menu/revistas-del-agua/revista-del-agua-1/item/130-avanzando-hacia-el-desarrollo-sostenible-reutilizacion-del-agua-lluvia>

GOMEZ, Manuel. Hidrología Urbana. Flumen. Barcelona. 2007. p. 75. (on line). Disponible en <http://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/2014/04/Seminario-de-hidrolog%C3%ADa-urbana.pdf>

GRANADA, Lorena. Estimación del consumo básico de agua en Colombia. Trabajo de Grado para optar al título de Economista. Universidad del Valle. Facultad de Ciencias Sociales y Económicas. Departamento de Economía. Santiago de Cali. 2011(on line). Disponible en: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/3682/4/CB-0449498.pdf>

HIDROPULUVIALES. Captación en el mundo.(citado el 07 de enero de 2015).

Disponible en: <http://hidropluviales.com/captacion-en-el-mundo/>

HIROMITE, Gabriel et al. Use of rainwater for non-potable purposes in the Amazon.

En : Development and Sustainability. 16.2. (Apr 2014): 431-442.

Disponible en: <http://search.proquest.com/docview/1503748286/14E1AABC2D984DFCPQ/1?accountid=15412>

KWAADSTENIET et al . Domestic Rainwater Harvesting: Microbial and Chemical Water Quality and Point-of-Use Treatment Systems. Water Air Soil Pollut (2013) 224:1629 DOI 10.1007/s11270-013-1629-7

LYE, D. Rooftop runoff as a source of contamination: A review. Science of the Total Environment 407 (2009) 5429–5434 : Science of the Total Environment 407 (2009) 5429–5434.

Disponible en:

[http://standards.nsf.org/apps/group\\_public/download.php/18153/Lye\\_Rooftop-runoff-as-a-source-of-contamination-A-review\\_2009.pdf](http://standards.nsf.org/apps/group_public/download.php/18153/Lye_Rooftop-runoff-as-a-source-of-contamination-A-review_2009.pdf)

MARK W., Rosegrant; XIMING, Cai; SARAH A., Cline. Panorama global del agua hasta el año 2025. Cómo impedir una crisis inminente. Colombo: Instituto Internacional para el Manejo del Agua.2002. p. 5. Disponible en: <http://www.ifpri.org/publication/panorama-global-del-agua-hasta-el-ano-2025>

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico.RAS – 2000 SECCION II título d sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales. Bogotá D.C. 2010.

OBI, C. L., ONABOLU, B., MOMBA, M. N. B., IGUMBOR, J. O., Ramalivahna, J., BESSONG, P., VAN RENSBURG, E. J., LUKOTO, M., GREEN E., & MULAUDZI, T. B. (2006). The interesting cross-paths of HIV/AIDS and water in Southern Africa with special reference to South Africa. Water SA, 32, 323–

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Consumo mínimo de agua en situaciones de emergencia. New York 2009. Guia Técnica No 9. p 2.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD/CEPIS. Captación de agua lluvia para consumo humano. Especificaciones técnicas.2003.(on line).  
Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cosude/i.pdf>.

PACHECO MONTES, Margarita. Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de "Lluviatl" en México. En Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, año 2008. No. 3. p 44.  
Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7060/pacheco.pdf>

PALACIO, CASTAÑEDA Natalia. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa maría auxiliadora de Caldas, Antioquia. Trabajo de Monografía Especialización en Manejo y Gestión del Agua. Universidad de Antioquia escuela ambiental especialización en manejo y gestión del agua. Medellín. 2010

PALACIO, CASTAÑEDA Natalia. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa maría auxiliadora de Caldas, Antioquia. Trabajo de Monografía Especialización en Manejo y Gestión del Agua. Universidad de Antioquia escuela ambiental especialización en manejo y gestión del agua. Medellín. 2010

PERALES MOMPALER, Sara;-DOMÉNECH, Ignacio. Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. 2006. p. 2 (on line).  
Disponible en: <http://ovacen.com/wp-content/uploads/2015/05/gestion-del-agua-en-el-planeamiento.pdf>

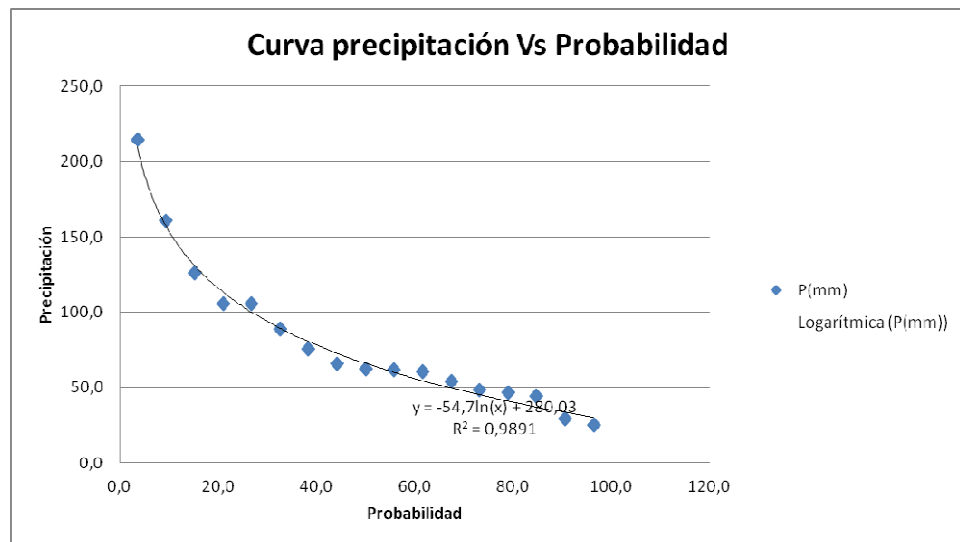
RUIZ, Jose; ESCOBAR, Omar. Alteraciones de la precipitación y la temperatura ante variabilidad y cambio climático para la ciudad de Bogotá (on line). IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2012. p. 21.  
Disponible en  
: [http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Escenarios+Bogota+\(Ruiz+y+Escobar\).pdf/13e1c051-d085-45b6-8bb0-d1c86df1beb1](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Escenarios+Bogota+(Ruiz+y+Escobar).pdf/13e1c051-d085-45b6-8bb0-d1c86df1beb1)

ANEXOS

Anexo A. Precipitaciones medias mensuales para un periodo de 17 años, estación INEM KENNEDY, con datos completados por el autor.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1999	30,2	100,7	27,3	67,5	34,8	97,1	10,0	44,1	79,5	83,0	28,9	30,9	634,0
2000	15,8	112,3	95,4	57,1	77,4	58,6	48,0	50,0	56,1	57,8	25,1	14,6	668,2
2001	11,3	14,0	20,8	10,1	82,9	24,9	32,5	9,8	39,4	18,5	48,2	51,4	363,8
2002	10,5	15,5	59,1	54,2	66,8	37,1	13,4	21,8	83,6	62,2	54,1	31,1	509,4
2003	1,7	12,1	48,9	50,7	20,1	44,7	31,7	13,2	24,3	100,6	88,5	20,2	456,7
2004	16,5	52,3	40,8	140,2	121,0	61,3	11,7	17,3	29,2	87,1	60,2	13,9	651,5
2005	15,6	29,4	38,5	63,4	119,2	26,8	35,3	45,3	53,8	86,9	44,4	40,0	598,6
2006	22,7	10,4	97,5	109,2	114,0	102,7	17,9	30,2	41,3	76,1	65,8	14,1	701,9
2007	2,4	30,5	36,0	110,3	85,9	68,0	40,2	41,9	15,5	115,3	75,5	55,3	676,8
2008	16,0	48,4	84,3	168,1	168,3	108,8	75,9	57,1	26,8	91,5	126,0	54,2	1025,4
2009	22,7	60,6	96,7	48,1	30,4	34,3	28,7	32,5	14,0	148,2	61,5	10,6	588,3
2010	0,8	18,5	30,9	177,8	159,1	90,7	118,8	44,3	69,7	119,8	214,3	175,5	1220,2
2011	38,1	43,5	128,9	194,9	112,3	42,6	38,5	57,9	24,8	126,8	160,5	97,7	1066,5
2012	20,6	53,3	106,2	174,9	37,9	32,5	32,9	42,2	11,9	102,6	46,3	47,7	709,0
2013	2,5	62,5	56,7	100,3	95,6	20,0	35,9	38,4	23,1	36,4	105,3	65,6	642,3
2014	18,2	52,9	49,9	64,0	66,7	48,2	22,6	19,3	44,8	88,9	105,4	97,1	678,0
2015	42,5	17,5	57,2	49,3	27,0	42,7	35,8	13,6	18,6	21,9	62,3	24,5	412,9
MedRecal	16,9	43,2	63,2	96,5	83,5	55,4	37,0	34,0	38,6	83,7	80,7	49,7	682,6
MEDIOS	18	43,2	65,5	95,6	82,5	57,6	39,3	36	48	91,1	76,6	50,2	703,2
MAXIMOS	43	112	129	195	168	109	119	58	102	148	214	176	214,3
MINIMOS	0,8	10,4	20,8	10,1	20,1	24,9	10	9,8	12	18,5	19,3	10,6	0,8

Anexo B. Gráfico típico de precipitación contra probabilidad de ocurrencia y curva de regresión logarítmica de acuerdo con la metodología de Siegart y Veenhaizen, para el mes de noviembre, estación INEM Kennedy, como ejemplo de los cálculos realizados para el resto de los meses con el fin de estimar la precipitación con un 75% de probabilidad.





Anexo D. Cuadro de cálculo de precipitación neta mensual (aporte efectivo de la lluvia al sistema), frente a demanda estimada, considerando un coeficiente de escorrentía de 0,9 y precipitación media (p50) y precipitación p75 (Probabilidad de ocurrencia del 75%)

Parametro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	total
P75%	8,19	21,29	40,19	56,85	51,50	34,69	18,25	23,52	21,89	59,66	43,86	18,59	
P50%	16,9	43,20	63,24	96,47	83,49	55,35	37,04	34,04	38,61	83,73	80,72	49,67	
Pn(mm)	531	1380	2604	3684	3337	2248	1183	1524	1418	3866	2842	1205	
Pn(M3)	0,5	1,4	2,6	3,7	3,3	2,2	1,2	1,5	1,4	3,9	2,8	1,2	25,8
Dem	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	45,6
Dif	-3,3	-2,42	-1,196	-0,116	-0,463	-1,552	-2,617	-2,276	-2,382	0,066	-0,958	-2,595	19,8

Anexo E. Calculo de volumen  $V_t$  para cada  $\Delta_t$  (cada mes), con base en la metodología de Dixon, 1999, para estimar el volumen hidráulico del depósito, considerando una demanda constante de  $3,8 \text{ m}^3$  al mes.

Mes	P50%(mm)	Pt(Pn50%m3)	Qt	Vt
Ene	16,9	1,1	3,8	-2,7
Feb	43,2	2,8	3,8	-1,0
Mar	63,2	4,1	3,8	0,3
Abr	96,5	6,3	3,8	2,8
May	83,5	5,4	3,8	4,4
Jun	55,4	3,6	3,8	4,2
Jul	37,0	2,4	3,8	2,8
Ago	34,0	2,2	3,8	1,2
Sept	38,6	2,5	3,8	-0,1
Oct	83,7	5,4	3,8	1,6
Nov	80,7	5,2	3,8	3,0
Dic	49,7	3,2	3,8	2,4