



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS COMO ALTERNATIVA EN EL
AHORRO DE AGUA POTABLE EN VIVIENDAS.**

JUAN SEBASTIÁN MONTERO DURÁN

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.**

2016



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS COMO ALTERNATIVA EN EL
AHORRO DE AGUA POTABLE EN VIVIENDAS.**

JUAN SEBASTIÁN MONTERO DURÁN

CÓDIGO: 2092023

**Monografía para optar al Título de
INGENIERO CIVIL**

Director:

JOSÉ LUIS DÍAZ ARÉVALO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.**

2016

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C 2016

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, que me apoyaron en el transcurso de mi carrera y me permitieron seguir adelante para cumplir este gran objetivo en mi vida profesional, a todas las personas que me acompañaron en el transcurso de mi carrera, mis docentes, mis demás compañeros de carrera, a mi director del presente trabajo y jurados que me orientaron.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4. METODOLOGÍA.....	18
5. MARCO DE REFERENCIA	19
5.1 MARCO TEORICO	19
5.2 MARCO CONCEPTUAL	20
5.3 MARCO NORMATIVO.....	22
6. EVOLUCIÓN HISTORICA DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS HASTA LA ACTUALIDAD	24
6.1 DESARROLLO HISTÓRICO EN EL MUNDO.....	25
6.2 CASOS DE ESTUDIO Y TECNOLOGIAS EN LA ACTUALIDAD	28
6.2.1 Asia	29
6.2.2 África.....	35
6.2.3 Europa.....	37
6.2.4 Sur América	41
6.2.5 Norte América y Centro América.....	44
6.2.6 Oceanía e islas.....	49
7. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL EN COLOMBIA.....	51
7.1 EJEMPLOS DE CAPTACIÓN EN COLOMBIA	52
7.1.1 Sede Bancolombia Medellín	52
7.1.2 Edificio Farmacéutica Novartis Sede Multinacional en Bogotá	53
7.1.3 Edificio Ecobranh Avon Centro de Distribución Antioquia.....	54
7.1.4 Colegio Rochester en Chía.....	55
7.1.5 Almacén Alkosto Villavicencio y Almacén Alksoto Venecia Bogotá.....	56
7.1.6 Edificio de postgrados de ciencias humanas de la Universidad Nacional sede Bogotá.	56
7.2 ESTUDIOS DE CAPTACIÓN Y EVALUACIONES ECONOMICAS DE AGUAS LLUVIAS REALIZADOS EN ANTIOQUIA	58

8. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA LLUVIA	59
8.1 DESARROLLO Y ABASTECIMIENTO DE AGUA LLUVIA.....	59
8.2 CONTAMINACION DEL AGUA	60
8.3 CARACTERISTICAS DEL AGUA POTABLE.....	64
8.4 DEMANDA Y USOS DEL AGUA	67
8.5 CALIDAD DEL AGUA LLUVIA.....	68
9. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO PLUVIAL	72
9.1 DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA	72
9.2 FACTORES TÉCNICOS Y ECONÓMICOS MÁS IMPORTANTES	73
9.3 ELEMENTOS PRINCIPALES	74
9.4 EJEMPLO DE DISEÑO	78
10. CONCLUSIONES.....	86
11. RECOMENDACIONES	89
Bibliografía.....	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Estándares de calidad de agua potable dados por la OMS.....	65
Tabla 2: Criterios de calidad para destinación del consumo humano y domestico mg/l en Colombia. Normas de calidad de agua potable, Decreto 474/98	66
Tabla 3: Requisitos de tratamiento.....	70
Tabla 4: Eficacia de la medida de tratamiento	71
Tabla 5: Coeficientes de Escurrimiento (Ce) de los diferentes materiales en el Área de Captación.	76
Tabla 6: Cálculo de la demanda y el abastecimiento.	83
Tabla 7: Resultados Volumen de Abastecimiento.	83
Tabla 8: Calculo del volumen del tanque de almacenamiento.	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Régimen Pluvial en Colombia en las ultimas décadas.....	15
Figura 2: Sistema común de aprovechamiento pluvial.....	19
Figura 3: Clasificación general de los sistemas de captación de lluvia.....	21
Figura 4: Esquema Chultuns en el antiguo Imperio Maya	26
Figura 5: Antigua ciudad de Sassai en Italia.....	27
Figura 6: Sistema de captación de agua lluvia, Yemen	27
Figura 7: Sistema de Captación de Lluvias en New Deli.....	30
Figura 8: Sistema de recolección agua lluvias en meseta de Loess de Gansu, China.	32
Figura 9: Edificios con Sistemas de Captación de Lluvias en Singapur.....	33
Figura 10: Rojinson, sistema para la utilización de lluvia a nivel comunitario en Tokio, Japón.	34
Figura 11: Sistemas Fanya Juss en Kenia.....	36
Figura 12: Esquema dimensiones promedio y diseño Sistema Fanya Juss.	36
Figura 13: Sistema Ecobloc Flex Drenaje Sostenible (GRAF)	38
Figura 14: Detalle Sistema Ecobloc Flex Drenaje Sostenible (GRAF).....	38
Figura 15: Modelo de sistema integral de gestión del agua.....	39
Figura 16: Edificio de apartamentos en Reino Unido con sistemas de captación de lluvias.	40
Figura 17: Detalle Sistema AquaCell.	41
Figura 18: Cisternas rurales de ferrocemento en Sergipe Brasil.....	42
Figura 19: Sistema de cosecha de agua lluvia GRAF.....	43
Figura 20: Esquema de funcionamiento del sistema de aprovechamiento de agua lluvia llamado “Healty House” en Toronto, Canadá.....	45
Figura 21: Detalle Sistema StormTech.	46
Figura 22: Sistema de captación del proyecto Isla Urbana, 2011	47
Figura 23: Cisternas Recolectoras en Honduras.....	48
Figura 24: Sistemas de captación económicos construidos con ayuda de ONG´s.	48
Figura 25: Cisternas rectangulares	49
Figura 26: Tanque circular de Almacenamiento en zona rural de Australia	50
Figura 27: Sede Bancolombia Medellín	52
Figura 28: Farmacéutica Novartis, Bogotá.....	54
Figura 29: Ecobranch Avon Antioquia.....	55
Figura 30: Colegio Rochester en Chía.	56
Figura 31: Edificio postgrados Universidad Nacional.....	57

Figura 32: Esquema lluvia acida	63
Figura 33: Efectos lluvia acida	63
Figura 34: Consumo doméstico por persona	67
Figura 35: Detalle interceptor.....	75
Figura 36: Regionalización según la precipitación por estacionalidad.....	80
Figura 37: Régimen de precipitación para la estación Quibdó.....	80

RESUMEN

Los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias han evolucionado a través de la historia, es una técnica que acompaña al ser humano desde los orígenes de la civilización, el propósito de esta monografía es presentar una gran reseña del avance de estos, sus grandes ventajas en comunidades alrededor del mundo. La importancia de estos en viviendas es un hecho muy evidenciado en el que se expondrán ejemplos de grandes beneficios obtenidos en comunidades, se explicaran metodologías de captación, características y parámetros de calidad del agua lluvia junto con un breve diseño de un sistema de aprovechamiento en una comunidad de Colombia, más exactamente en la región del Pacífico Norte.

PALABRAS CLAVES

Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias

Ciclo hidrológico

Calidad del agua

Evolución histórica

Captación

Almacenamiento

Desinfección.

ABSTRACT

Systems uptake and water use Rains have evolved one through History, is a technique that accompanies the human being from the Origins of Civilization, the purpose of this Monograph is to present a great feedback on the progress of these , His great Advantages in communities around the world .The importance of these in homes is a very evident fact on which examples large will be presented benefits in Communities, methodologies recruitment, Features and Quality Parameters rain water will be explained along with a design brief of the United Nations System use in a community of Colombia, More exactly in the North Pacific.

KEYWORDS

Systems rainwater harvesting

Hydrological cycle

Water quality

Historical evolution

Catchment

Storage

Disinfection

INTRODUCCIÓN

El proyecto busca analizar y exponer el estado del arte en cuanto a los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias, la importancia y funcionamiento de estos como una solución en búsqueda a la alta demanda de agua potable en ciudades, zonas rurales y regiones áridas del país que debe tomarse muy en cuenta a la hora de construir viviendas, y una tendencia que debe llevarse a un futuro si se quiere prevenir el deterioro del recurso hídrico en Colombia.

Las aguas lluvias han sido utilizadas desde comienzos de la humanidad, en un principio para la agricultura y posteriormente para satisfacer necesidades del uso diario; se sabe de esta técnica aplicada en el antiguo imperio Romano donde el clima era semiárido, se construían grandes depósitos subterráneos donde se almacenaba la lluvia captada y se disponía después para el consumo humano o agrícola; estos sistemas se vieron más implementados en zonas con gran crecimiento demográfico y poca disponibilidad de aguas superficiales.

Se realizará un amplio recuento con base en la información y los avances actuales con el fin de consignar el estado del arte actual respecto a los sistemas pluviales. En un principio explicando la importancia de estos sistemas en relación con la necesidad actual por la preservación del agua; posteriormente se describirá detalladamente la evolución histórica, los principales sistemas usados y algunos ejemplos encontrados en el mundo y en Colombia evidenciando los avances realizados en el uso de estos, el estado del arte y los antecedentes de estudio realizados. Se estudiarán sistemas implementados en zonas de Colombia como son el Choco, Bogotá, Antioquia, Cartagena y algunos sistemas en el sector industrial en almacenes conocidos y universidades, luego se comparará el proceso de captación y aprovechamiento pluvial con respecto a la calidad del agua obtenida, la demanda de esta y las múltiples ventajas ofrecidas respecto a otros sistemas; finalmente se consignarán algunas consideraciones de diseño, características técnicas y recomendaciones de operación y mantenimiento.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el proceso de expansión y desarrollo del ser humano se enfrenta a diversos nuevos problemas ambientales que antes no existían, problemas como el calentamiento global, la contaminación, la escasez de recursos y la creciente demanda energética obligan al hombre a tomar conciencia de su impacto y su responsabilidad con el planeta para la conservación de este y de todas las especies que habitan en él. El correcto uso de los recursos naturales que actualmente existen marcará la diferencia de la calidad del planeta tierra en un futuro.

Colombia es un país muy rico en recursos naturales que alberga una vasta variedad de fauna y flora en todo el territorio y no posee aun grandes problemas ambientales que poseen otros países, el agua es un recurso categorizado como no renovable, pero en creciente demanda muy limitado y en algunas zonas de difícil preservación y accesibilidad.

Múltiples factores están agudizando la escasez del agua, factores como; la deforestación de los bosques andinos, la transformación de los páramos debido al cultivo agrícola; la contaminación de los ríos, cuencas y lagos, el mal procesamiento de desechos industriales, el uso indebido de aguas subterráneas, junto con la falta de concientización en la población ponen en riesgo el futuro del agua en nuestro país.

Es por esto que surge la necesidad de aumentar la disponibilidad de agua dulce y el perfeccionamiento de las técnicas disponibles para satisfacer la demanda continua y mejorar la cantidad y calidad del agua. El presente proyecto se centrará en los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias como una gran alternativa a este problema.

2. JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico o como tal el agua en el mundo hace parte fundamental para el desarrollo de la vida en el planeta, esta se encuentra en varios estados y en distintos lugares; aproximadamente el 97,5% se encuentra en los océanos y mares tratándose de agua salada cuyo uso es muy complejo y limitado. El restante 2.5% pertenece al agua dulce disponible del cual el 68,7% corresponde a los glaciares en las capas de hielo en el ártico y en las cumbres nevadas, el 30.1% se encuentra en los acuíferos subterráneos, el 0,8% en el permafrost y el restante 0,4% en las aguas superficiales y en la atmosfera; este ultimo 0,4% de agua dulce disponible que es el de más fácil acceso se encuentra dividido en 67,4% en lagos, 12,2% en el suelo bajo forma de humedal, 9,5% en la atmosfera, 8,5% en humedales, 1,6% en ríos, 0,8% en plantas y animales.¹

En Colombia existen zonas en las cuales es muy difícil el suministro de agua potable como lo son las zonas rurales o la región del Pacífico, estas poseen una grave deficiencia en el servicio de acueducto y alcantarillado, el agua potable suministrada aparte de poseer una alta demanda se ha reportado varias veces con problemas de salubridad, lo que ha ocasionado diversas enfermedades asociadas a estas condiciones de saneamiento e higiene; el saneamiento básico conlleva un gran aumento en la calidad de vida de las personas.

Los sistemas de captación y almacenamiento de lluvias podrían llegar a convertirse en una parte fundamental para todo tipo de construcciones sostenibles, el agua siendo un recurso natural muy importante cada vez es más escaso, gracias a la instalación de estos sistemas se puede llegar a ahorrar una gran parte del consumo potable en un hogar. El agua almacenada puede ser reutilizada para distintos usos ya sean no potables como el uso de sanitarios, riego, jardinería, lavados o potables con su correcto proceso de desinfección.

Actualmente los procedimientos de reutilización de las aguas lluvias en muchas viviendas no se realizan de la manera correcta, inconvenientes como la carencia de protección en los tanques de almacenamiento, el mantenimiento periódico, falla en la presión requerida del sistema, generan problemas como la sedimentación de sólidos, la presencia de factores externos como hojas, palos, materia fecal de aves e insectos que conllevan a la presencia de agentes bacterianos, patógenos, parásitos y otros; dificultan el óptimo suministro del agua en el hogar.

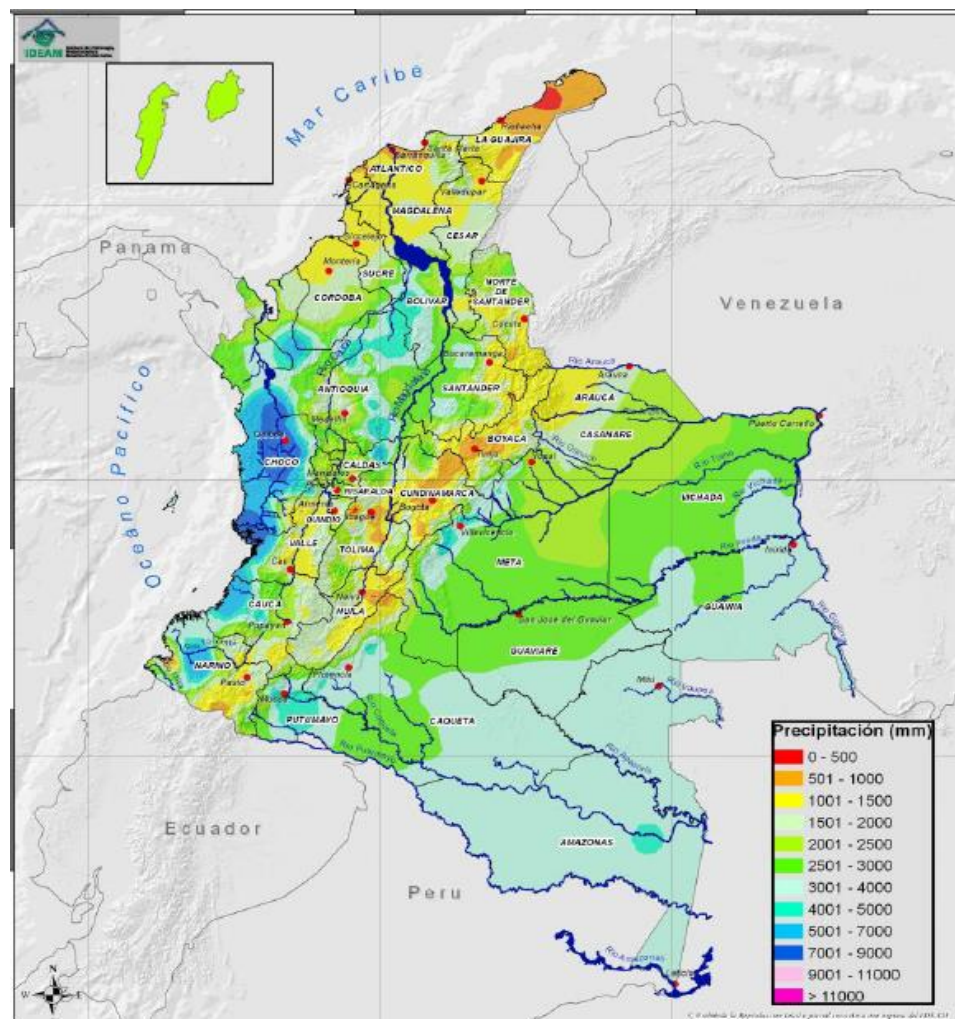
Las aguas lluvias representan un recurso del cual se puede disponer sin una gran infraestructura o recorrer distancias para su transporte. En la implementación de estos sistemas las características técnicas y el diseño parten de un estudio

¹ GREENFACTS, WIRTGEN Jacques. (2009). Recursos Hídricos "Resumen del 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo". Bruselas, Bélgica.

preliminar de la cantidad de agua a tratar, la superficie de la cubierta y el estudio pluvial de la zona; el depósito de almacenamiento en la mayoría de los casos está enterrado o situado en una superficie, a la entrada del depósito se dispone de un filtro para evitar elementos no deseados, posteriormente se impulsa el agua y se distribuye a través del circuito a los distintos elementos de consumo.

Estudios realizados en Colombia han demostrado la gran factibilidad de estos sistemas pluviales, evidenciando que el país posee altos índices de pluviosidad en regiones de escasez de agua como los son el departamento del Choco, Cauca, Valle del Cauca, Nariño, contando también su implementación en algunas ciudades y zonas rurales a lo largo de todo el país debido a su favorecedor clima intertropical.

Figura 1: Régimen Pluvial en Colombia en las ultimas décadas.



Fuente: Arango; C.; Dorado, J; Guzmán D.; Ruiz, J. F. Subdirección de Meteorología IDEAM. (2012). Cambio Climático mas probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente.

La demanda de estos sistemas cada vez es mayor por motivo de largas sequias y pronósticos climáticos a futuro. Es evidente el gran ahorro en agua que se presenta y la no tan compleja implementación de dichos sistemas, que pueden contribuir en gran medida a las necesidades ambientales. En Colombia estamos en una fase temprana de escasez de agua y es necesario recurrir y mejorar las alternativas existentes.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Constituir el estado del arte respecto a los sistemas de recolección, almacenamiento y uso de aguas lluvias, como alternativa para el ahorro de agua potable en viviendas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisión bibliográfica y análisis de la información hasta la fecha respecto a los sistemas de aprovechamiento pluvial.
- Consignar las características fundamentales de sistemas de captación de aguas lluvias existentes, su funcionamiento, especificaciones, costos, ventajas y desventajas, etc.
- Determinar las características del agua de lluvia captada y sus parámetros establecidos para satisfacer la demanda de agua en viviendas.
- Describir el beneficio obtenido de la implementación de un sistema de aprovechamiento pluvial.
- Exponer un sistema óptimo de aprovechamiento de aguas lluvias para usos potables o no potables (sanitarios, jardines, lavado) en viviendas, como ejemplo.
- Plantear recomendaciones y líneas futuras de estudio de los sistemas de captación.

4. METODOLOGÍA

Para la consecución de este trabajo junto con los objetivos establecidos se realizarán las siguientes actividades en este orden establecido

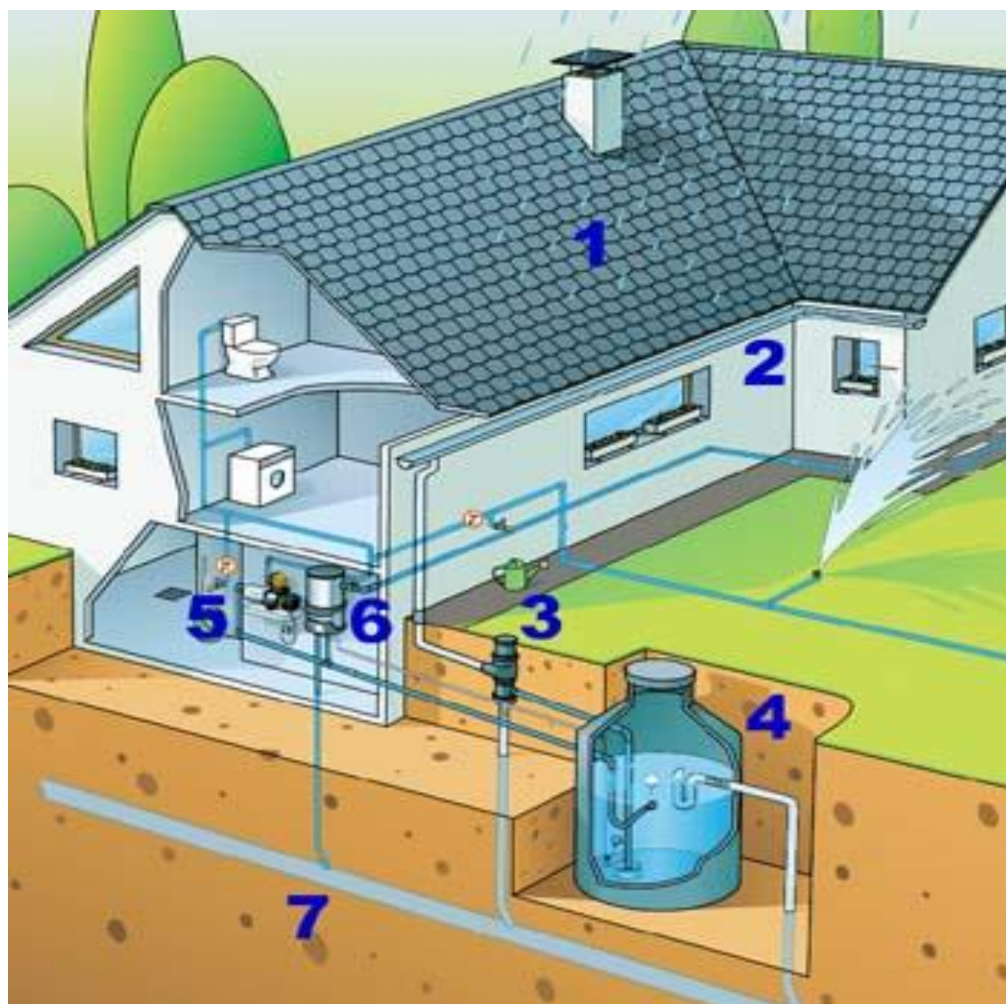
1. Exposición bibliográfica sobre los fundamentos, importancia y los distintos sistemas de captación de aguas lluvias existentes, beneficios y desventajas y demás características; ampliando el marco referencial establecido.
2. Descripción de los principales sistemas usados en Colombia y en el mundo actualmente. Se podrán apreciar las estructuras usadas en algunas regiones del país, el impacto que han causado y las nuevas tecnologías usadas.
3. Características del agua lluvia y el agua potable junto con sus parámetros de calidad y procedimientos para su desinfección; comparación de estudios realizados.
4. Se describirán ejemplos de cálculo el diseño y todas los factores relacionados con su construcción; consideraciones de diseño, costos de operación, características técnicas y recomendaciones de operación y mantenimiento.
5. Conclusiones y recomendaciones.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO TEORICO

Los sistemas de recolección de agua lluvia no son muy complejos, constan de 3 partes: Captación, Conducción y Almacenamiento. Dependiendo de su uso posterior se diseñan los demás componentes adicionales como lo son el sistema desinfección y distribución y se toman en cuenta las especificaciones técnicas para la forma de captación de acuerdo al área, la geometría o el material escogido, tal como se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2: Sistema común de aprovechamiento pluvial



Fuente: h2opoint. Obtenido de: <http://www.h2opoint.com/lluvia.php>. (2015).

Esquema común de sistema de aprovechamiento pluvial en él se evidencian 7 etapas:

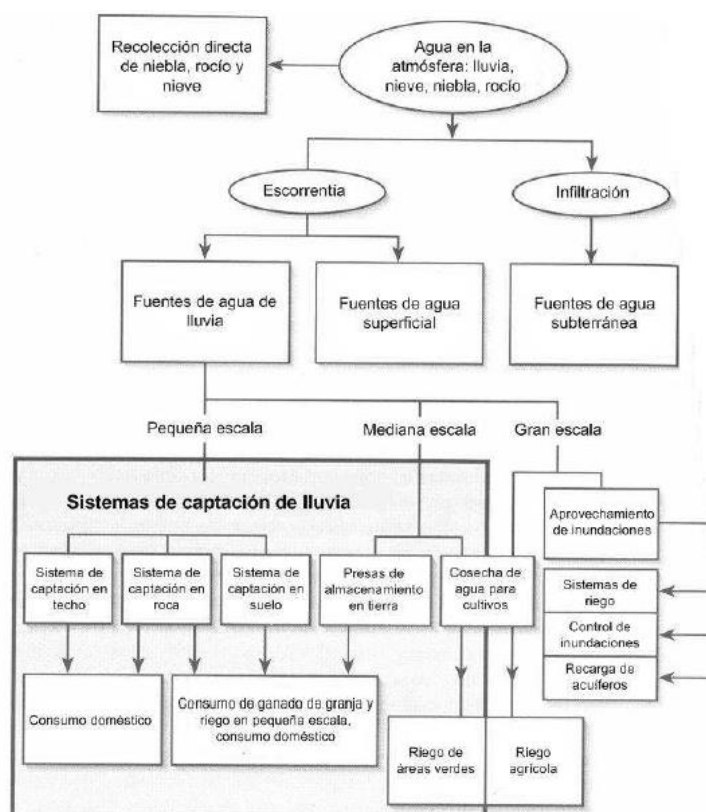
1. **Cubierta:** En función de los materiales empleados tendremos mayor o menor calidad del agua recogida.
2. **Canalón:** Para recoger el agua y llevarla hacia el depósito de almacenamiento.
3. **Filtro:** Eliminación de la suciedad y evitar que entre en el depósito o cisterna.
4. **Depósito:** Espacio donde se almacena el agua ya filtrada.
5. **Bomba:** Para distribuir el agua a los lugares previstos.
6. **Sistema de gestión** agua de lluvia-agua de red: Mecanismo por el cual se tiene un control sobre la reserva de agua de lluvia y la conmutación automática con el agua de red.
7. **Sistema de drenaje** de las aguas excedentes, de limpieza, etc. que puede ser la red de alcantarillado, o el sistema de vertido que disponga la vivienda. ²

5.2 MARCO CONCEPTUAL

Para el desarrollo del proyecto es importante entender ciertos conceptos: el concepto de captación de aguas lluvias en viviendas entiéndase como la tecnología implementada para la recolección en los techos y los pisos u áreas impermeables de estas, de agua que escurre en forma superficial para un posterior almacenamiento y uso humano; existen diversos métodos como lo son el más conocido SCAPT(sistema de captación de agua pluvial en techos) y otros más que dependiendo su fuente, tipo de escorrentía, técnica, almacenamiento son clasificados; estos serán descritos en el transcurso del proyecto.

² PETERSEN Nissen, GOULD. (1999). *Clasificación general de los sistemas de captación de lluvia*.

Figura 3: Clasificación general de los sistemas de captación de lluvia



Fuente: PETERSEN Nissen, GOULD. (1999). Clasificación general de los sistemas de captación de lluvia.

Algunos otros conceptos importantes a tener en cuenta son:

- **Precipitación:** Es el fenómeno que se produce posterior a la condensación del vapor del agua atmosférico que se deposita en la superficie de la tierra, ocurriendo debido a la saturación de vapor en la atmósfera, el agua condensándose y cayendo en forma de gotas de agua conocido como lluvia, granizo, nieve. Es una pieza fundamental en el ciclo hidrológico y el sustento vital de muchas especies.
- **Medición de la precipitación:** Se realiza mediante un aparato conocido como pluviómetro; este mide el agua que cae sobre un metro de superficie en un tiempo determinado y expresa esa cantidad en litros por metro cuadrado, los valores obtenidos para que sea válidos deben ser científicamente comparables. Desde 1960 se han venido perfeccionando las técnicas y ahora es también posible realizar la medición de la lluvia por medio de un radar meteorológico en conjunto con modelos matemáticos, obteniendo datos como la intensidad y los caudales en tiempo real de determinadas zonas.

- **Características del agua potable:** El agua en su estado natural contiene diversas sustancias químicas, microbios y demás componentes físicos de los cuales algunos son perjudiciales para la salud o le otorgan características desagradables para el gusto humano; dependiendo el uso el agua debe recibir un tratamiento específico con el fin de cumplir unos estándares de calidad establecido. Según la Organización Mundial de la salud los estándares a cumplir se pueden dividir en propiedades físicas como son el olor, sabor, color, turbiedad; propiedades químicas, las cuales describen las concentraciones máximas y mínimas de compuestos químicos disueltos en el agua que pueden llegar a ser perjudiciales para el ser humano; propiedades microbiológicas, analizando los patógenos y microorganismo que pueden llegar a ocasionar enfermedades y riesgo para la salud.
- **Coeficiente de escurrimiento:** Es la relación presente entre la lámina de agua en una superficie y la lámina de agua que escurre superficialmente. Se expresa en mm.

5.3 MARCO NORMATIVO

En materia de legislación y normatividad respecto al uso de agua en Colombia se encuentran variedad de decretos, normas y leyes que la declaran como un servicio y bien público; en el ámbito ambiental existen otras que regulan su uso adecuado; pero en lineamientos de aprovechamiento de aguas lluvias a seguir es poco.

La normatividad aplicada en este proyecto la proporcionará el:

- **REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS 2000. SECCION II TITULO D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales**
- **GUIA AMBIENTAL DEL IDU (INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO)**

De igual manera se presentan las sentencias expedidas por la corte constitucional respecto al agua potable:

Sentencia T-717/10

“Toda persona tiene derecho fundamental prima facie a disponer y acceder a cantidades suficientes, y de calidad, de agua apta para el consumo humano/DERECHO AL AGUA POTABLE-Desconexión, suspensión o racionalización del servicio público de acueducto supone una interferencia en este derecho, que debe ser justificada por quien la adelanta”.

Ley 373 de 1997 por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se destacan respecto la orientación de este trabajo los siguientes artículos:

“Artículo 2o - Contenido del programa de uso eficiente y ahorro del agua. El programa de uso eficiente y ahorro de agua, será quinquenal y deberá estar basado en el diagnóstico de la oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda de agua, y contener las metas anuales de reducción de pérdidas, las campañas educativas a la comunidad, la utilización de aguas superficiales, lluvias y subterráneas, los incentivos y otros aspectos que definan las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales, las entidades prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado, las que manejen proyectos de riego y drenaje, las hidroeléctricas y demás usuarios del recurso, que se consideren convenientes para el cumplimiento del programa.”

Artículo 5o - Reúso obligatorio del agua. Las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental. El Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Desarrollo Económico reglamentarán en un plazo máximo de (6) seis meses, contados a partir de la vigencia de la presente ley, los casos y los tipos de proyectos en los que se deberá reutilizar el agua.

Artículo 9o - De los nuevos proyectos. Las entidades públicas encargadas de otorgar licencias o permisos para adelantar cualquier clase de proyecto que consuma agua, deberán exigir que se incluya en el estudio de fuentes de abastecimiento, la oferta de aguas lluvias y que se implante su uso si es técnica y económicamente viable.

Ley 142 de 1994 por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1575 de 2007. Capítulo II Sobre las Características y criterios de la calidad del agua para consumo humano

Decreto 3930 de 2010 en el cual se ratifica la ley 9 de 1979 y el Decreto 2811 de 1974 sobre los usos del agua y residuos líquidos, otorgando a las autoridades ambientales la regulación de vertimientos y limita la descarga de aguas residuales a cuerpos de aguas lluvias.

En Colombia se evidencia que no se posee un marco normativo muy fuerte respecto al aprovechamiento pluvial en edificaciones; las técnicas implementadas no están bien reguladas y en materia de cobro por el servicio de agua en el sistema de acueducto y alcantarillado no existe del todo una conexión de acuerdo a la facturación que se debería generar por la modificación del consumo generado al recurrir a las aguas lluvias.

6. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS HASTA LA ACTUALIDAD

Según estudios realizados por el IDEAM exponiendo el cálculo de relación oferta – demanda de agua en el año 2000 junto con sus proyecciones para los años 2015-2025, cerca del 50% de la población de Colombia que habita en las áreas urbanas municipales es predispuesto a sufrir problemas de suministro de agua, como resultado de la presión sobre las cuencas hidrográficas y las restricciones de uso por contaminación de las aguas superficiales. Como desventaja, más del 80% de las cabeceras municipales poseen como fuente de abastecimiento de agua pequeños riachuelos o quebradas que en épocas de estiaje no aseguran el abastecimiento a la población. Debido a esta alarmante situación se realizó una exploración de las experiencias en diferentes países de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, con el fin de estudiar y comprender esta tecnología como un sistema alternativo de abastecimiento de agua.³

En la ejecución del estudio se evidencia la antigüedad del tema, por ello se realiza un recuento histórico desde los más antiguos sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, los cuales datan de 4.000 años a.C. hasta los sistemas modernos, los cuales se utilizan fuertemente en muchas zonas del planeta.

Estas metodologías utilizadas para la captación y almacenamiento del agua lluvia, son el producto de las necesidades (demanda de agua), los recursos disponibles (dinero para invertir y materiales de construcción), las condiciones ambientales (contaminación del agua, disponibilidad de agua subterránea y superficial, precipitación y temperatura), las experiencias culturales y la legislación actual de cada región. Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia sólo se implementan cuando no existe una red de acueducto, el suministro es insuficiente, la calidad del agua es muy baja o los costos del agua potable son elevados; algunas de estas condiciones son las predominantes en varios municipios de Colombia y pueden llegar a darse a largo o mediano plazo en la mayoría de los municipios del País.⁴

³ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). (2010). Estudio Nacional del Agua –ENA-. Bogota D.C.

⁴ SUAREZ BALLEEN Jose Alejandro, GALARZA GARCIA Miguel Angel, ORTIZ MOSQUERA Rafael Orlando. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

6.1 DESARROLLO HISTÓRICO EN EL MUNDO

Desde el origen el ser humano ha constituido el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte; en la antigüedad en el valle de los ríos fue el lugar donde se establecieron las primeras civilizaciones. Se desarrolló la agricultura en conjunto con la utilización de la lluvia, sin embargo estas prácticas no dependían directamente del agua lluvia debido a la gran presencia de aguas superficiales.

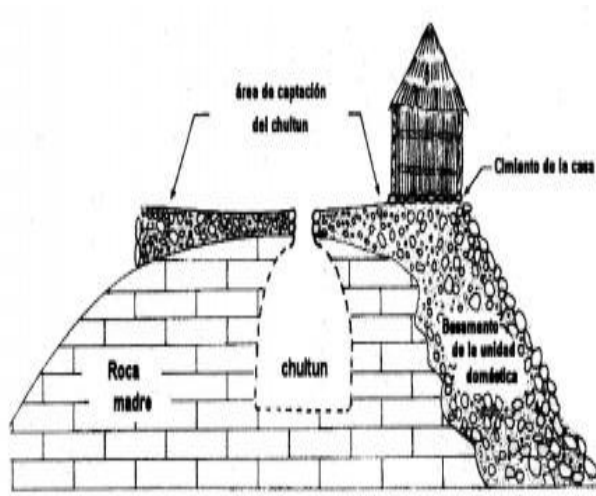
Pasando el tiempo las civilizaciones fueron creciendo demográficamente y la demanda de agua y alimento comenzó a incrementarse, muchas tuvieron que migrar a otras zonas más áridas, se empezaron a desarrollar técnicas de captación de lluvias como alternativa para el riego en los cultivos y el consumo.

Autores renombrados en el estudio de agua lluvias como Gould y Nissen – Petersen (1999) describen los orígenes del aprovechamiento pluvial en las primeras civilizaciones del Medio Oriente.⁵

- La Antigua Republica Romana, en los siglos III y IV a.C. La ciudad de Roma estaba conformada por edificaciones unifamiliares denominadas “Domus” que poseían un espacio principal a cielo abierto llamado “Atrio” en el que se alojaba un estanque principal que recolectaba el agua lluvia llamado “impluvium”, el agua pasaba por un orificio en el techo llamado “compluvium”.
- En el desierto de Negev, en Israel y Jordania fueron descubiertos sistemas de captación de agua lluvia de hace aproximadamente 4000 años o más, estos sistemas se basaban en el desmonte de lomeríos para poder incrementar la escorrentía superficial con el fin de ser dirigida a zonas agrícolas más bajas.
- El imperio Maya en Centroamérica; al sur de la ciudad de Oxkutzcab (estado de Yucatán) en el pie de la montaña de Puuc, en el siglo X a.C. Se contaba con un sistema para el aprovechamiento de agua lluvia, el cual recogía el agua en un área de 100 a 200 m² posteriormente se almacenaba en cisternas llamadas “Chultuns” estas se encontraban enterradas en el suelo impermeabilizadas y poseían aproximadamente un diámetro de 5m; este sistema abastecía a la población y se implementaba para el riego de los cultivos, en la figura 4 se puede apreciar el esquema de los Chultuns y su disposición en el suelo.

⁵ J Ghould, E Nissen-Petersen. (1999). Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply..

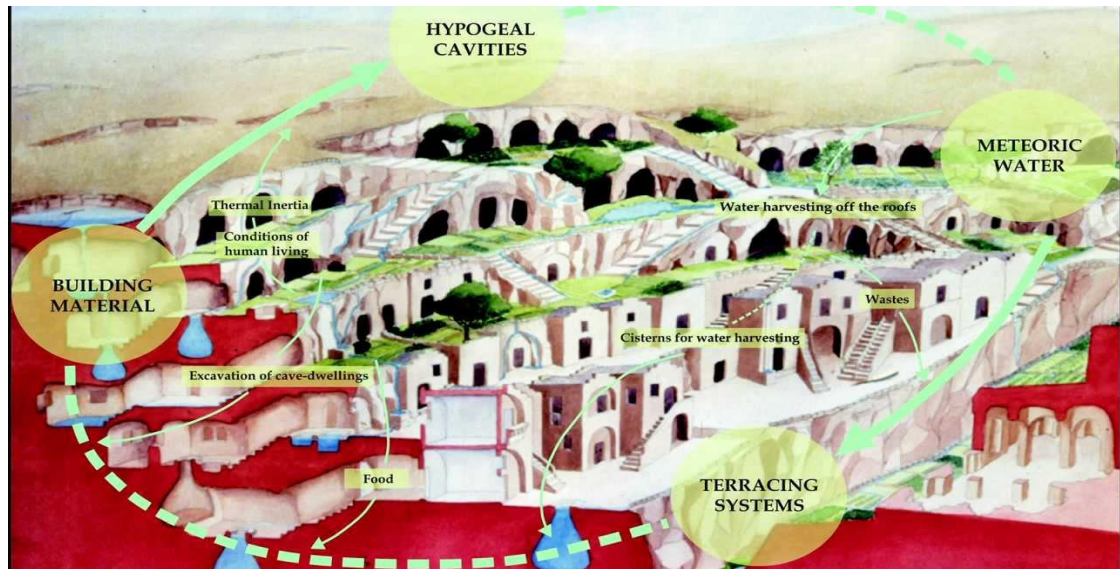
Figura 4: Esquema Chultuns en el antiguo Imperio Maya



Fuente: tectonicablog. (2016). Obtenido de <http://tectonicablog.com/?p=57303>

- En zonas como Edzna, Campeche; las poblaciones precolombinas construyeron un canal de aproximadamente 50 m de ancho y 1 m de profundidad el cual suministraba agua potable y riego de cultivos.
- En China en la provincia de Gansu de han encontrado pozos y jarras que fueron implementados para la captación de lluvias de hace 2000 años.
- Un ejemplo de gran magnitud fue la ciudad de Sassai de Matera en Italia, donde la ciudad está construida a orillas de profundos barrancos, los techos tallados en la misma piedra junto con posos recolectores alrededor de un patio con grandes excavaciones de ajibes que recogen el agua de los tejados, el agua de la lluvia se colecta por un sistema de drenaje de las cuevas compuesto por canales de terracota que llevan el agua al ajibe.
- En Irán en toda la historia se han desarrollado sistemas tradicionales llamados “abarbans” para la captación y aprovechamiento de las lluvias.

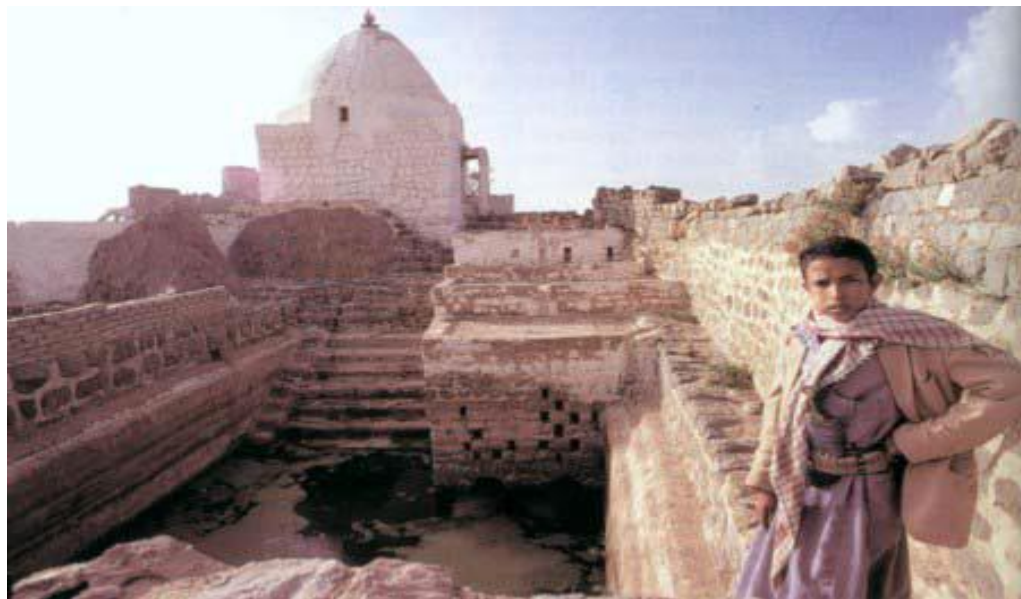
Figura 5: Antigua ciudad de Sassai en Italia



Fuente: IPOGEA - Traditional Knowledge Research Centre . (s.f.).

- En Yemen en el siglo X a.C. Zona donde las lluvias eran muy escasas, se edificaron templos y sitios de oración los cuales poseían patios y terrazas utilizados para captar y almacenar agua lluvia.

Figura 6: Sistema de captación de agua lluvia, Yemen



Fuente: (Ballén, 2006)

Siglos después la implementación de sistemas de captación de aguas lluvias decrecieron debido a la construcción de obras para el aprovechamiento de agua superficial y subterránea como fueron presas, pozos de extracción, acueductos y complejos sistemas de riego. En la península de Yucatán debido a la invasión española en el siglo XIV, se redujo el uso de los sistemas pluviales, la cultura Española introdujo su sistema de agricultura, domesticación de animales y demás métodos europeos. En la India una situación similar con la colonización Inglesa, cambio los métodos tradicionales que poseían los nativos para el abastecimiento de agua.

En el pasado y en la actualidad muchas sociedades humanas han logrado desarrollarse y sobrevivir en ambientes áridos con escasez de agua con la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, estos sistemas representan una solución sustentable que incrementa el volumen disponible para el uso humano y demás seres vivos.

6.2 CASOS DE ESTUDIO Y TECNOLOGIAS EN LA ACTUALIDAD

Debido al crecimiento en los últimos años de las ciudades el mundo y el aumento de la demanda de agua potable, la ingeniería ha dado con soluciones como lo son la acumulación de agua superficial junto con sistemas de acueducto; en algunos casos la explotación de agua subterránea y demás sistemas; pero estos siendo muy eficientes no son muy amigables con el ciclo hidrológico y pueden conllevar otros problemas a un futuro o en otras regiones.

El interés por la captación de aguas lluvias ha incrementado considerablemente y en otras regiones; zonas áridas y zonas con problema de escasez de agua es una práctica que siempre se ha llevado a cabo; países de Latinoamérica, África y Asia están generando un fuerte desarrollo en estas prácticas.

La mayor parte de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia se componen de 3 factores principales de estudio:⁶

- La necesidad y demanda del recurso hídrico
- Las condiciones disponibles: precipitación pluvial, costo de inversión y las características de los materiales de construcción
- Las condiciones sociales y ambientales de cada región.

Por lo general, donde no existe red de agua potable, el suministro es deficiente o el agua tiene un costo muy alto, se piensa en buscar sistemas alternativos de

⁶ BALLEEN SUAREZ Jose Alejandro, GALARZA GARCIA Miguel Angel, ORTIZ MOSQUERA Rafael Orlando. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

abastecimiento. Por ello la documentación sobre sistemas de aprovechamiento de lluvia se limita a las acciones realizadas en las últimas décadas en zonas del planeta con las deficiencias mencionadas anteriormente.

La captación de lluvia se está desarrollando tanto en zonas rurales como urbanas, a nivel doméstico y comunitario, para uso agrícola y humano, en países desarrollados y en vías de desarrollo. Algunos casos concretos son los siguientes.⁷

6.2.1 Asia

Muchos países en este continente viven en torno a las grandes inundaciones en la época de lluvia en especial en las zonas del sur cuando viene el monzón y la falta de suministro de agua en las regiones áridas. Grandes ciudades como China, India y Japón, enfrentan la escasez en el suministro, razón por la cual están considerando el agua de lluvia como una solución determinante. Lluvias torrenciales, sequías de mayor duración, efectos del cambio climático, el derretimiento de los glaciares del Himalaya, impulsan y motivan la búsqueda de nuevas fuentes de suministro.

➤ Situación de India

Este es el segundo país con más población después de China. Con una población de más de 100 millones de habitantes, suministrar los servicios básicos es un gran problema, las técnicas de aprovechamiento pluvial se han implementado en gran medida. La distribución del agua de lluvia en India es inconstante girando cerca de los 100mm en los desiertos del Noroeste a 2500 mm en las montañas del Noreste, acompañada de una temporada de lluvia marcada llamada monzón, es un diluvio breve el cual es de aproximadamente 100 horas de lluvia por año las cuales se deben captar, almacenar y distribuir el resto del año.

Estudios de la FAO consideran a la India como uno de los 6 países que más están en peligro por falta de agua. Por este motivo varias entidades están desarrollando programas que impulsen el uso eficiente del agua, ahorro de agua potable, aprovechamiento del recurso pluvial y el apoyo a nuevas tecnologías que lo permitan.

La agricultura depende directamente de las lluvias en la región; se ha empezado a incrementar la demanda para aplicar este tipo de métodos en zonas urbanas en contrapuesta del aumento de población, el incremento de actividades industriales y comerciales junto con el mayor consumo de reservas de agua. La población urbana en India aumento casi cinco veces en las últimas décadas; hace algunos años la

⁷ GARCIA VELAZQUEZ Jesús Hiram. (2012). Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un eco barrio de la Ciudad de México. Trabajo de Grado.

mayoría de ciudades eran autosuficientes y se abastecían de cuerpos de aguas superficiales y subterráneas, estas últimas han tenido que ser reguladas por el gobierno y entidades privadas; en regiones como Chennai y Nueva Delhi los sistemas de aprovechamiento pluvial son obligatorios.

Los sistemas de captación de lluvia implementados, son de bajo costo e impacto, aumentan las reservas de agua; razón por la cual han implementados leyes y recolección de fondos los Gobiernos locales en búsqueda de fomentar y aumentar estas técnicas. Los fondos de desarrollo rural disponen de un 50 % para promover la cosecha de lluvia en el campo; esta técnica es una tradición muy antigua realizada por los “pallar” personas con conocimientos dedicadas a idear soluciones para captar lluvia dependiendo las regiones. En India se capta la lluvia en las azoteas, patios, pozos abiertos en tierras, aprovechan al máximo los escurrimientos y las lluvias generadas por el monzón, los sistemas de captación en techos son obligatorios en 18 estados de la India; en la figura 7 se pueden apreciar 2 sistemas de captación algo similares para viviendas en New Delhi.

- En Bangalore efectúan una disminución en los impuestos en los hogares que posean sistemas de aprovechamiento de lluvias.
- En Delhi se exige que todos los edificios gubernamentales posean estos sistemas; además se desarrollan programas de incentivos técnicos y económicos para hogares que los implementen.
- En Mumbai a partir del 2002, se declaró obligatorio que las construcciones nuevas con área de 1000 m² acojan este tipo de sistemas.

Figura 7: Sistema de Captación de Lluvias en New Delhi



Fuente: Antecedentes de la Captación del agua de lluvia. Dr. Manuel Anaya Garduño.2009

➤ **Bangladesh**

En Bangladesh la gran contaminación de arsénico obliga a la utilización de aguas lluvias. Desde 1977, cerca de 1000 sistemas de aprovechamiento pluvial fueron instalados por la ONG Fórum for Drinking Wáter Supply & Sanitation. Los tanques de almacenamientos utilizados fueron contruidos en variedad de materiales y tipos y suministran un agua potable segura.

El agua recogida se deposita en tanques de capacidades variables en torno a 500 a 3.200 litros, esta se utiliza para consumo humano y tiene una gran aceptación por los residentes locales al ser considerada una fuente segura. Estudios en la zona demuestran que el agua que se mantiene bien almacenada y protegida puede alcanzar hasta 4 - 5 meses sin poseer presencia de contaminación bacteriana. En la última década se han realizado campañas para recolectar el agua de lluvia en las zonas urbanas y así ampliar el suministro doméstico

➤ **China**

China posee graves problemas de escasez de agua que han provocado grandes pérdidas económicas y medioambientales. Una zona donde se puede evidenciar en gran parte dicha problemática es la meseta de Loess de Gansu, localizada al noroeste del País, siendo una de las zonas más pobres de China que depende por completo del agua de lluvia, las cuales son muy escasas, la precipitación anual es de unos 300 mm concentrándose en julio, agosto y septiembre, de igual manera la tase de evaporación potencial es de 1,500-2,000 mm. Las fuentes de agua superficial y subterránea son limitadas, lo que conlleva a que la agricultura en la provincia depende de las precipitaciones.⁸

En 1995 el gobierno local implementó el proyecto 121, apoyando económicamente a cada familia construyendo un campo de recolección de agua, sitios de almacenamiento y terrenos para cultivar.

Se construyeron sistemas que se componían de canaletas que recolectan el agua de los techos, tanques de almacenamiento de cemento y planchas de plástico para recolectar la lluvia en el suelo. El agua recolectada se disponía para el riego de cultivos.

Desde el año 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 metros cubicos garantizando el suministro de agua potable para 1,97 millones personas y riego suplementario de 236.400 hectáreas de tierra. En la figura 8 se ve la distribución de los tanques en una zona rural y su gran capacidad de almacenamiento.

⁸ SUAREZ BALLEEN Jose Alejandro, GALARZA GARCIA Miguel Angel, ORTIZ MOSQUERA Rafael Orlando. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

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 metros cúbicos, 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.

Figura 8: Sistema de recolección agua lluvias en meseta de Loess de Gansu, China.



Fuente: Hidropluviales. Obtenido de <http://hidropluviales.com/captacion-en-el-mundo/>. 2016

➤ **Singapur y Tailandia**

En Singapur alrededor del 86% de la población vive en edificios de apartamentos, los cuales en los techos se realiza la captación de agua lluvia y posteriormente se le da un uso potable. 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. Motivo por el cual se investigan fuentes alternativas y métodos innovadores para la recolección de agua de lluvia. Se implementan en gran medida los techos de edificios altos, estacionamientos de edificios e instituciones educativas e incluso las pistas del aeropuerto, la lluvia es recolectada y dispuesta en cisternas separadas para ser usada en servicios no potables; otra parte de ser necesaria se le aplica técnicas de potabilización para consumo humano.

Un gran ejemplo de captación de agua es el estuario Sungei, en la localidad de Sedar al noreste del país, posee un área de captación de 3200 hectáreas, el agua se recolecta y luego circula por un sistema de purificación para distribuirla.⁹

En el Aeropuerto Internacional de Singapur Changi, se recolecta el agua lluvia que escurre por las pistas, las áreas verdes y los techos y posteriormente almacenada en depósitos, esta agua se dispone para las reservas de incendios e inodoros de las instalaciones; el consumo de agua proveniente del sistema de acueducto se redujo en un 28%-33% junto con un ahorro aproximado de 390,000 dólares.

La recolección en edificios altos también es una técnica muy usada en Singapur y Tailandia; se ha implementado en el techo de varios edificios; el agua recolectada se almacena en tanques de almacenamiento y se extrae para su utilización en sanitarios; la calidad del agua es aceptable para este uso y no para consumo potable, se puede apreciar un edificio de gran magnitud con este sistema en la figura 9.

Figura 9: Edificios con Sistemas de Captación de Lluvias en Singapur.



Fuente: Hidropluviales. Obtenido de <http://hidropluviales.com/captacion-en-el-mundo/>. 2016

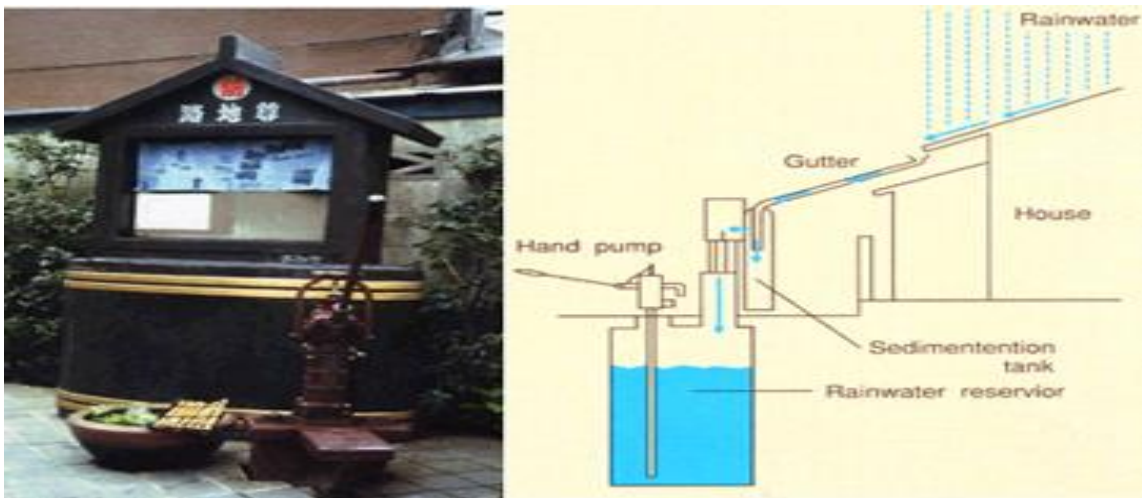
En Tailandia, se encuentran sistemas de vasijas de diferentes volúmenes; desde 1000 hasta 3000 litros, equipadas con tapa, grifo y sistema de drenaje; pueden suministrar agua de lluvia a un hogar promedio suficiente en periodos secos

⁹ Hidropluviales soluciones - Captacion en el mundo. (2016). Obtenido de <http://hidropluviales.com/captacion-en-el-mundo/> (9 de Marzo de 2016).

➤ **Japón y sistemas Rojinson.**

En Tokio, Japón se encuentran los sistemas llamados Rojinson los cuales ayudan a controlar las inundaciones, asegurar agua para emergencias; estos reciben agua de los techos de las casas, se almacenan en pozos subterráneos y luego se extrae mediante un sistema de bombeo manual. El agua puede ser usada para riego de jardines, aseo de fachadas y pisos, incendios y con un tratamiento adecuado para consumo humano.

Figura 10: Rojinson, sistema para la utilización de lluvia a nivel comunitario en Tokio, Japón.



Fuente: Ballen, 2006.

En Japón la temporada de lluvia empieza en junio y va hasta el mes de octubre esta es muy intensa y posee tifones y un promedio anual de 1,380 mm. Para controlar las inundaciones que se presentarían y solventar la posterior escasez de agua, en Tokio se variedad de construcciones poseen sistemas de aprovechamiento pluvial. Un promedio de 750 edificios usan estos sistemas. Existe también un sistema a gran escala Urbano, que permite establecer zonas de retención, almacenamiento y superficies inundables para controlar el equilibrio en la naturaleza y ciudad.

Los sistemas Rojinson, son un simple sistema creado por residentes locales en el distrito de Mukojima; este usa el mismo principio de los sistemas tradicionales de recolección en viviendas; el cual usa los tejados de las casas para la captación del agua, luego esta se utiliza para riego de jardines, reservas de agua. El agua almacenada se recolecta en un pozo subterráneo el cual cuenta con un sistema de bombeo manual para el uso.

Otro ejemplo que podemos encontrar es el Coliseo de lucha de Sumo Ryogoky Kokugikan, este aprovecha la azotea de 8.400m² para la captación y se almacena en un tanque de 1.000m³; se usa luego el agua para la limpieza, baños y aires acondicionados.¹⁰

6.2.2 África

África debido al alto porcentaje de pobreza que maneja, la situación por la escasez de agua es aún más grave, es compleja la obtención de recursos y la falta de tecnología necesaria para la construcción y operación de sistemas de acueducto y alcantarillado.

En ciertas zonas del continente Africano se han implementado sistemas de aprovechamiento pluvial, pero es importante evidenciar que su proceso es lento debido a diversos problemas como, las bajas precipitaciones y más escasas, menor número y tamaño de las cubiertas impermeables, alto costo, dificultad de obtención materiales de construcción, mínimos ingresos familiares. Zonas como Togo, Mali, Zimbabwe, Botswana, Sudáfrica, Mozambique, Sierra Leona, Malawi, Tanzania son donde más se han desarrollado este tipo de proyectos.

➤ Sistemas de aprovechamiento de Agua lluvia de muy bajo Costo

Un proyecto adelantado por varias organizaciones africanas de gran impacto y con el apoyo de Development Technology Unit de Inglaterra está en ejecución, el cual suplirá una gran parte de la demanda total a una inversión no mayor de 120 dólares por viviendas e implementando materiales y mano de obra de la zona.

➤ Zimbabwe, Kenia – Técnica Fanya juus

Basado en el desarrollo de terrazas de banco durante un periodo de tiempo se construyen para tirar del suelo hasta la pendiente de una zanja para formar un dique en el contorno; la zanja es aproximadamente de 60cm de ancho por 60 cm de profundidad y el montículo de 50 cm de alto y 150 cm de ancho de base; estas se construyen siguiendo las curvas de nivel ; la distancia entre muros de contención depende de la pendiente y puede ser de 5m a 20m respecto al pronunciamiento de la pendiente. Para su construcción se utilizan las piedras de las laderas rocosas para los diques y muros de las terrazas.

¹⁰ GARCIA VELAZQUEZ Jesús Hiram. (2012). Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un eco barrio de la Ciudad de México. Trabajo de Grado.

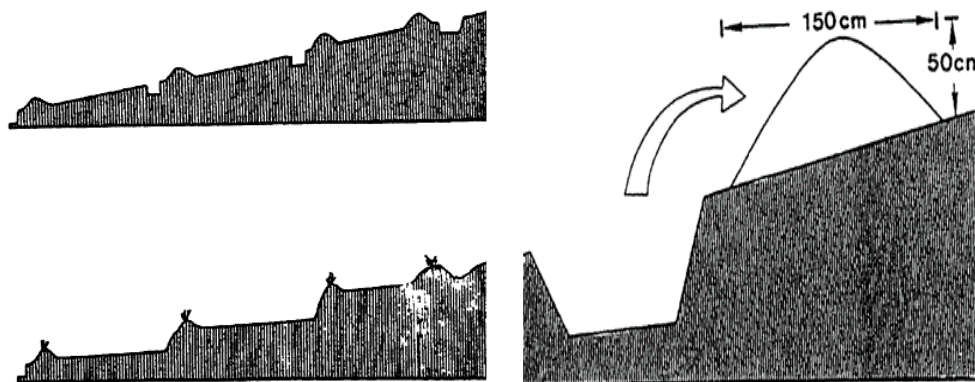
Figura 11: Sistemas Fanya Juss en Kenia.



Fuente: Obtenido de [http://rachel.golearn.us/modules/infonet/export/default\\$ct\\$265\\$soilManagement.html](http://rachel.golearn.us/modules/infonet/export/defaultct265$soilManagement.html). 2016

Por medio de la erosión gradual y la redistribución de los suelos en los campos cerrados, las tierras en las terrazas se estabilizan; en el suelo el agua lluvia se conserva dentro de los muros de contención y las federaciones se estabilizan por medio de gramíneas forrajeras sembradas. Cada granja posee un sistema de desagüe de ser necesario para proteger las terrazas de excesos de precipitación. Al usar en las paredes de las terrazas piedra; esta permite que el agua sobrante se infiltre y pase a través de los muros de contención evitando el desbordamiento de las paredes, se pueden ver las dimensiones y un ejemplo de pendiente utilizada en los sistemas en la siguiente figura 12.

Figura 12: Esquema dimensiones promedio y diseño Sistema Fanya Juss.



Fuente: <http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/TechPublications/TechPub-8a/fanya.asp>

La mano de obra requerida para su construcción se estima de 150 a 350 días-hombre/terrazas más el desagüe de corte. En Machakos los cultivos aumentaron su rendimiento un 50% mediante el uso de terrazas Fanya – Juu; esta tecnología es la mejor para zonas húmedas de precipitaciones anuales de 700mm o superior y zonas marginales. Los suelos deben ser profundos, la pendiente requerida es de al menos 5% a 50%. Se logra un gran control de la erosión y se mejoran los caudales en las cuencas obteniendo un suministro extra de agua para el pueblo.

6.2.3 Europa

➤ Proyectos en Alemania, Sistema Eco bloc Flex Drenaje Sostenible(Graf)

Alemania es uno de los pioneros en la recolección de agua lluvia; incorpora todos los años cerca de 50 mil sistemas como parte de su política pública auxiliando a algunos distritos con estas instalaciones.

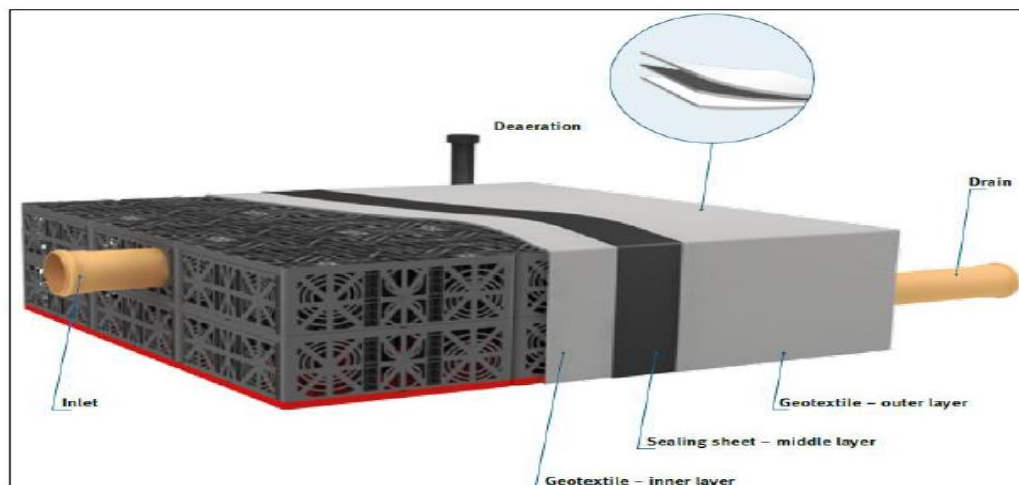
En Berlín, DaimlerChrysler Postdamer Platz, introdujo los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en 1998 como parte de un redesarrollo urbano a gran magnitud, buscando controlar y mitigar las inundaciones, utilizando el agua recolectada. El agua lluvia es recolectada en 19 edificios de 32.999m²; almacenada posteriormente en un tanque subterráneo de 3500m³; posteriormente reutilizada en zonas verdes, inodoros, techos verdes y estanques artificiales.

Otro proyecto ubicado en Berlín llamado Belss-Ludedecke-Strasse Building State; el agua lluvia equivalente de todas las cubiertas a 7.000m² es descargada a una gran cisterna de 160m³, junto con el agua de escurrimiento en las calles, espacios de estacionamiento y vías peatonales con un área de 4.200m², el agua es tratada y reutilizada para riego de jardines y sanitarios. El sistema está evaluado para retener aproximadamente 58% del agua lluvia en el perímetro de las instalaciones y el ahorro de agua potable se estima es de 2.430m³ por año.

El sistema Ecobloc Flex Drenaje Sostenible (GRAF) es una tecnología desarrollada en Alemania que consiste en módulos canasta que se pueden ensamblar en obra, los cuales son enterrados en forma simétrica como tanques de retención y/o infiltración de aguas lluvias. Su instalación y su transporte son sencillos por no poseer accesorios adicionales.¹¹

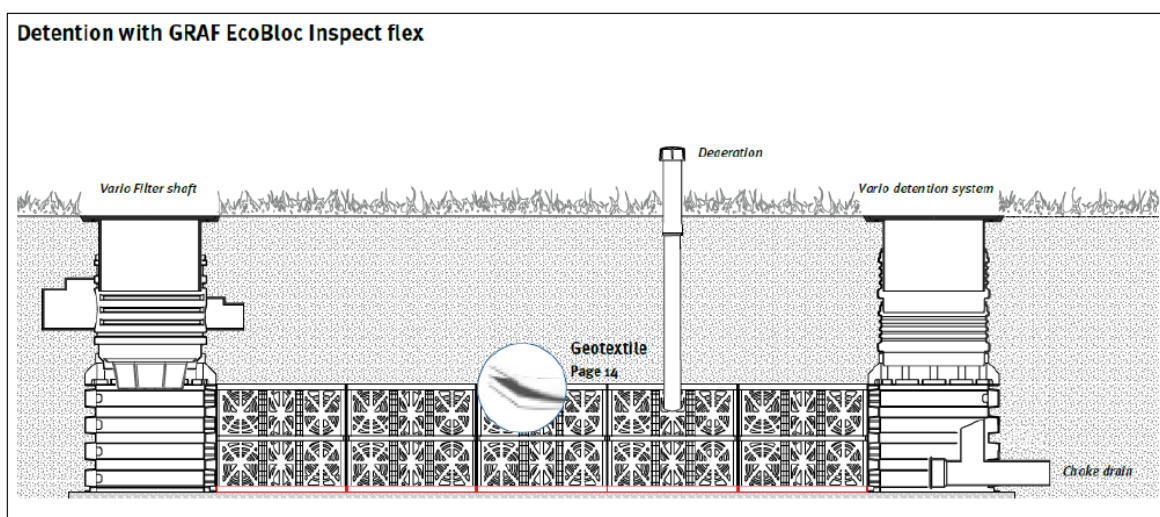
¹¹ HERRERA MONROY Luis Alberto. (2010). Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia. Tesis. Mexico

Figura 13: Sistema Ecobloc Flex Drenaje Sostenible (GRAF)



Fuente: Obtenido de <http://www.graf-agua.com/>.2015

Figura 14: Detalle Sistema Ecobloc Flex Drenaje Sostenible (GRAF)

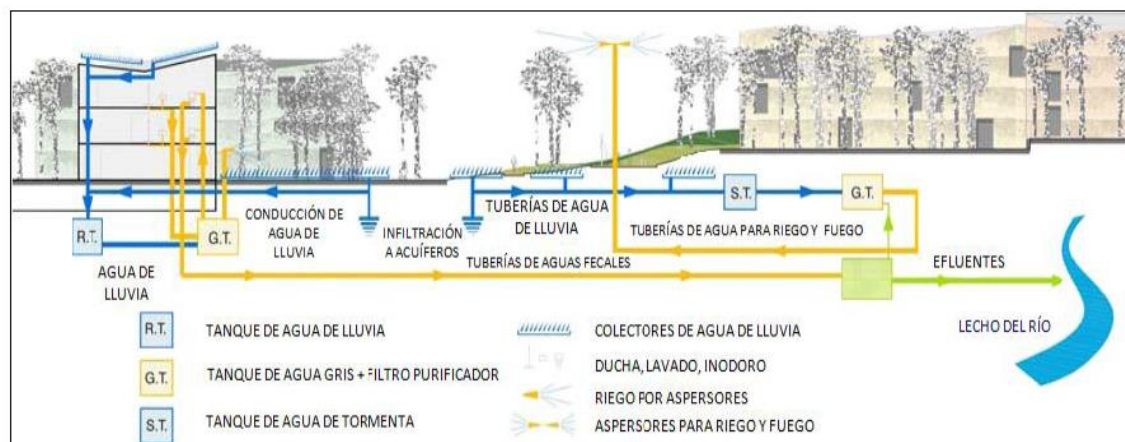


Fuente: Obtenido de <http://www.graf-agua.com/> 2015

➤ España

Un gran proyecto desarrollado en España fue el implementado en el municipio de Castilleja de Guzmán provincia de Sevilla, con el fin de optimizar el uso de agua y ganar beneficios económicos realizando un consumo más eficaz.

Figura 15: Modelo de sistema integral de gestión del agua.



Fuente: Eddea Arquitectura y Urbanismo. Sevilla. España

El modelo propuesto supone un sistema global en el que se tiene en cuenta el funcionamiento del agua a nivel urbano, procurando alargar su vida útil con medidas de ahorro y reutilización para cubrir las mismas necesidades, minimizar el consumo evitando la sobreexplotación, así mismo con captaciones pluviales manteniendo las áreas de absorción natural y que las áreas impermeabilizadas recojan y almacenen el agua. Reduciendo considerablemente la carga de aguas residuales a las que actualmente se enfrentan las depuradoras y el sistema de alcantarillado.¹²

➤ **Reino unido, Sistema de captación milenio Verde, tecnología Aquacell (Wavin – Pavco)**

En el reino Unido se presenta la situación del estrés hídrico, siendo un país muy lluvioso sufre por la falta de agua debido al aumento de la población y la demanda de agua en sí, la migración a las ciudades y la desigual distribución urbana afectan los recursos hídricos de las zonas con mayor desarrollo y mayor población. Se han implementado programas reglamentados en el cual buscan reducir gradualmente el consumo de agua de 150 litros/persona a 80. La captación de lluvia aparte de ser una técnica para este fin ayuda también al control de inundaciones evitando la sobrecarga en las calles y la saturación de los tanques de abastecimiento. El aprovechamiento de las lluvias ha sido una técnica alternativa para suministrar agua de calidad y requiere menos tratamiento que el reciclaje de aguas grises. Se ha utilizado para cumplir usos como el lavado de ropa, descarga de escusados, riego de jardines, limpieza; reducir la polución de fuentes de agua superficiales y subterráneas, evitar la contaminación y la escorrentía en las calles, aumentar las

¹² HERRERA MONROY Luis Alberto. (2010). Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia. Tesis Maestría Ingeniería civil. Mexico

reservas de agua. La figura 16 muestra algunos edificios de apartamentos de 6 y 7 pisos con estos sistemas.

Figura 16: Edificio de apartamentos en Reino Unido con sistemas de captación de lluvias.

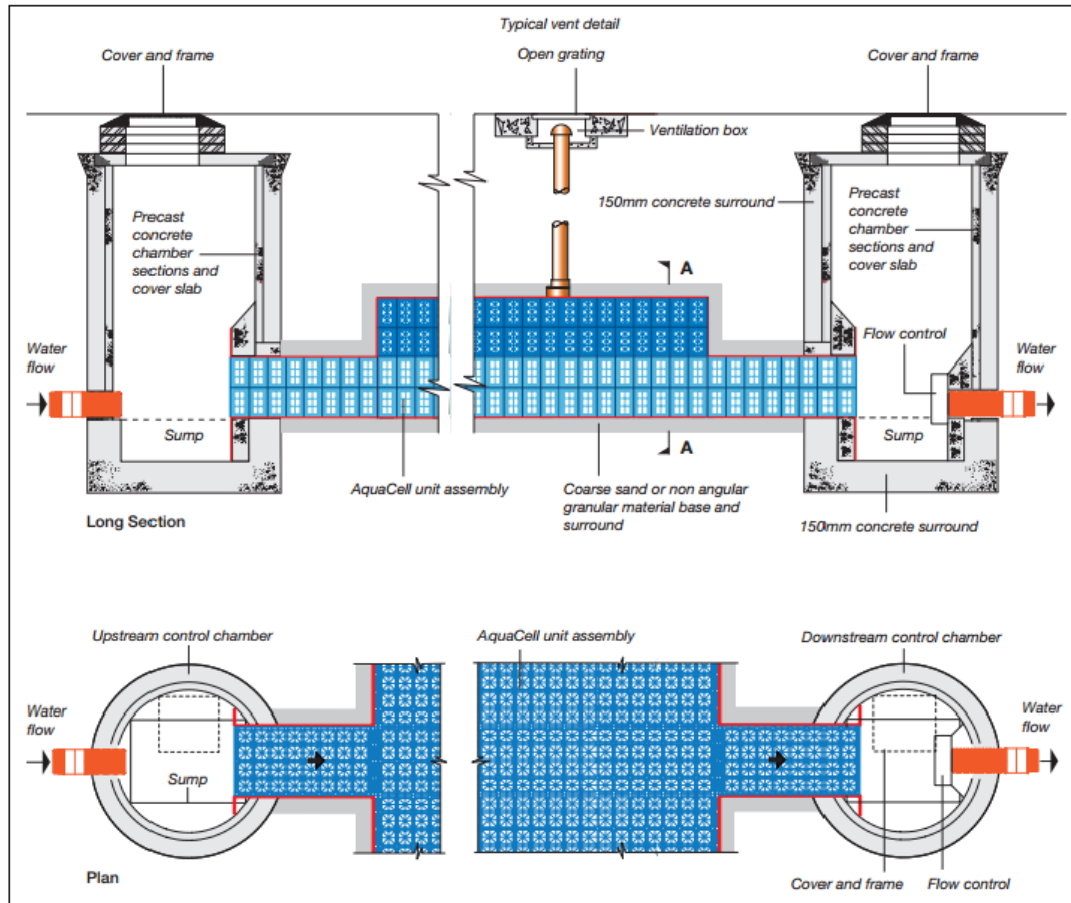


Fuente: Hidropluviales. Obtenido de: <http://hidropluviales.com/captacion-en-el-mundo/> 2015

El Sistema de Captación Milenio verde se compone de 5 tanques de almacenamiento con capacidad de 18 días; están instalados en casas de 4 habitaciones con áreas de techo de 153m², estos reparten aproximadamente 95m³/año, bombeando 3500 litros; junto con otras tecnologías logran reducir el consumo a 50m³ por año (50.000 litros).

AquaCell (Wavin – Pavco) es una tecnología encaminada a fortalecer el desarrollo sostenible donde se efectúa un almacenamiento de agua en el área donde es precipitada la lluvia, posteriormente es absorbida dentro de una estructura de celdas denominadas AquaCell, el agua se infiltra en el suelo o puede ser retenida por un determinado tiempo antes de ser descargada al alcantarillado o almacenada para ser utilizada en riego y limpieza o con algún tratamiento adecuado, como agua potable. Las unidades AquaCell se fabrican con resinas de polipropileno grapadas en capas y tendidas en múltiples capas.

Figura 17: Detalle Sistema AquaCell.



Fuente: Pavco Obtenido de: <http://pavco.com.co/> 2015

6.2.4 Sur América

➤ Brasil

Varias ONGs Y Organizaciones ambientales están enfocadas en trabajar el suministro de agua potable utilizando sistemas de aprovechamiento pluvial. En Brasil al noroeste, la lluvia varía desde 200 a 1000 mm; siendo también de un clima semiárido; las comunidades indígenas recolectan el agua lluvia en pozos excavados a mano en rocas; muy útiles, pero no satisfacen completamente la demanda de la región; el gobierno de Brasil en conjunto con una ONG iniciaron un proyecto de construcción de un millón de tanques, de concreto prefabricado u reforzado con mallas de alambre; para aprovechamiento del agua lluvia beneficiando a 5 millones de personas. La siguiente figura 18 muestra la construcción de uno de estos tanques y otro ya en funcionamiento.

Figura 18: Cisternas rurales de ferrocemento en Sergipe Brasil



Fuente: Antecedentes de la Captación del agua de lluvia. Dr. Manuel Anaya Garduño.2009

➤ **Sistemas de Cosecha de Lluvia (GRAF) en Argentina y Chile.**

Argentina y Chile dos países ubicados en el cono sur del continente de América, comparten una frontera terrestre con extensión de 5.308 km de largo, a lo largo de la Cordillera de los Andes. Poseen ciertas condiciones climáticas y topográficas algo similares en algunas regiones, por lo cual en zonas donde se han presentado dificultades en torno a la demanda de agua potable; han recurrido a soluciones similares e incluso las mismas prácticas.

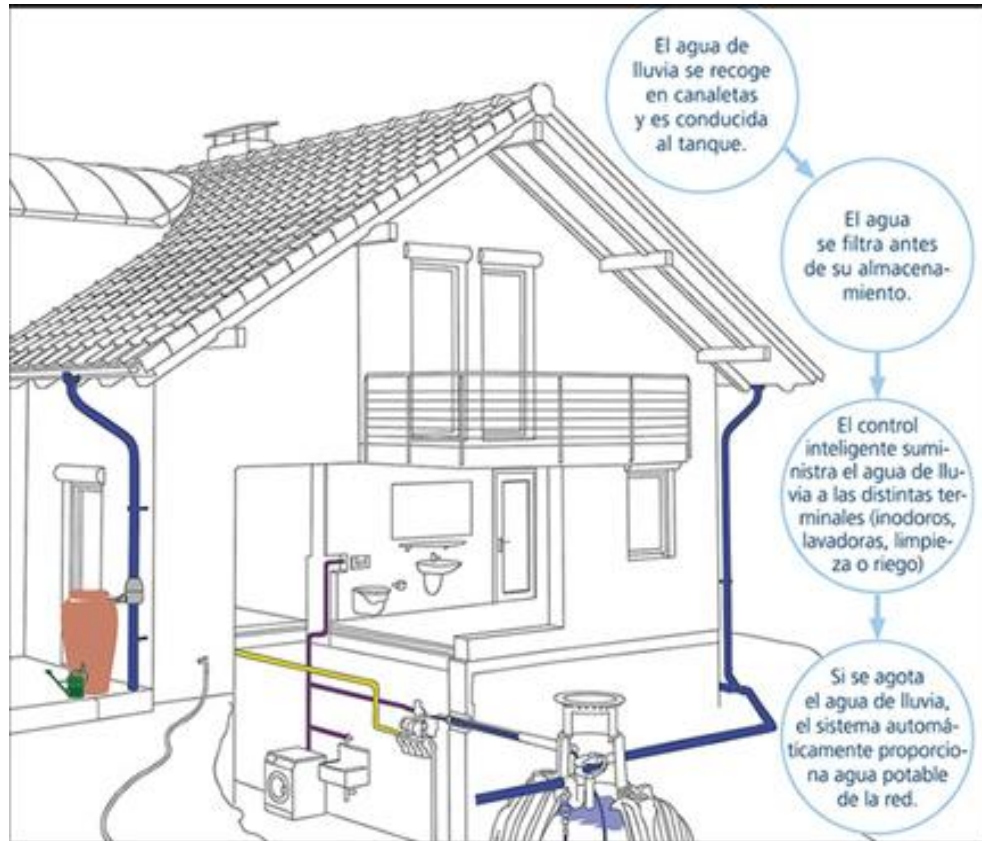
Estudios realizados por empresas privadas han evidenciado que aproximadamente un 50 % del consumo de agua en los hogares y 85% en instalaciones comerciales podría sustituirse por agua lluvia.

Recientemente en la conferencia Expo Green Building realizada en Argentina de 2014, se mostraron los sistemas de cosecha de lluvia; implementados para la recolección del agua lluvia y su reutilización en consumos que no requieran agua potable; riego, inodoros, lavarropas, torres de enfriamiento, limpieza. Estos sistemas son una tecnología desarrollada en Alemania y anteriormente implementada en Europa; los sistemas son marca GRAF y son importados a los países, poseen una tecnología incluida de filtrado automático, para que el agua pueda ser reutilizada sin mayores complicaciones, garantía de 15 años y fáciles de transportar e instalar.¹³ Son muy reconocidos en el ámbito de las construcciones sustentables y ahorro de recursos, el agua de lluvia es limpia y pura sin elementos

¹³ H.M.S.A.(2016). *H.M.S.A Ingeniería de riego*.

como cal ni cloro, además siendo un agua blanda es más beneficiosa para lavadoras y demás elementos.

Figura 19: Sistema de cosecha de agua lluvia GRAF.



Fuente: HMSA Obtenido de:
http://www.hmsa.com.ar/servicios_cosecha_de_lluvia.html 2015

El sistema se compone de las siguientes fases:

Derivación de primeras aguas y Filtración:

Las primeras aguas de lluvia captadas realizan el lavado inicial de techo, y son derivadas en forma directa al rebosadero, posteriormente el agua recolectada es conducida a través de una fina malla del filtro auto limpiante Optimax. El agua limpia fluye al interior, mientras que las partículas de suciedad se van por el rebosadero.

Sedimentación:

El agua es conducida a través del tubo de llenado a la zapata de aquietamiento con el fin de sedimentar las partículas más finas (menores a 0,35 mm). Se evita así el continuo aquietamiento del fondo y la constante suspensión de las partículas y mejora su oxigenación.

Rebosadero:

Las partículas de suciedad más ligeras quedan en la superficie del agua formando una capa flotante, la cual es eliminada a través del rebosadero cuando el tanque se llena al máximo de su capacidad.

Captación del agua en el tanque:

El agua almacenada se capta para el consumo a unos 10 cm de la superficie mediante una toma flotante. Se obtiene siempre el agua de mejor calidad.

La cañería que alimenta las terminales (inodoros, lavarropas, etc.) es independiente a la cañería de agua potable. En caso que no llueva por periodos prolongados, hay que garantizar el suministro a estas terminales. Por este motivo, dentro del depósito hay un sensor de nivel, conectado a un control externo con visor, que indica el % de nivel de agua en el tanque; cuando el nivel del tanque llega a determinado nivel mínimo, automáticamente habilita el ingreso al tanque de agua de red o de perforación, no para llenarlo sino para recuperar hasta otro nivel aceptable. De esta manera se mantiene en funcionamiento y disponible el tanque para futuras lluvias.¹⁴

6.2.5 Norte América y Centro América

➤ Canadá – Proyecto Healty House

En Vancouver, Canadá se otorga un subsidio para la compra de tanques plásticos para el aprovechamiento de lluvias. Estos tanques recolectan el agua de los techos y es reutilizada en el riego de jardines, actividad que demanda más del 40% del agua en las viviendas en la época de verano; cada barril ahorra aproximadamente 4920 litros de agua en la época de Verano donde la demanda es la más alta registrada en el año.

En Riverdale, área metropolitana de Toronto, Canadá, se encuentra una vivienda familiar de tres habitaciones con área de 158 m² llamada “HEALTY HOUSE” (CASA SALUDABLE). Esta edificación es un proyecto que se fundamente en ser totalmente autosuficiente, no utiliza el sistema de acueducto municipal. El agua que se desea usar para consumo humano es suministrada por un sistema de canales que dirigen el agua a un tanque de almacenamiento donde se realiza un proceso de desinfección agregándole cal la cual reduce la acidez de esta y le otorga un sabor fresco; posteriormente pasa por un filtro de arena fina y carbón activada para la

¹⁴ H.M.S.A.(2016). *H.M.S.A Ingeniería de riego*.

remoción de impurezas y en última instancia se somete a luz ultravioleta para eliminar el resto de agentes nocivos.

Figura 20: Esquema de funcionamiento del sistema de aprovechamiento de agua lluvia llamado “Healty House” en Toronto, Canadá.



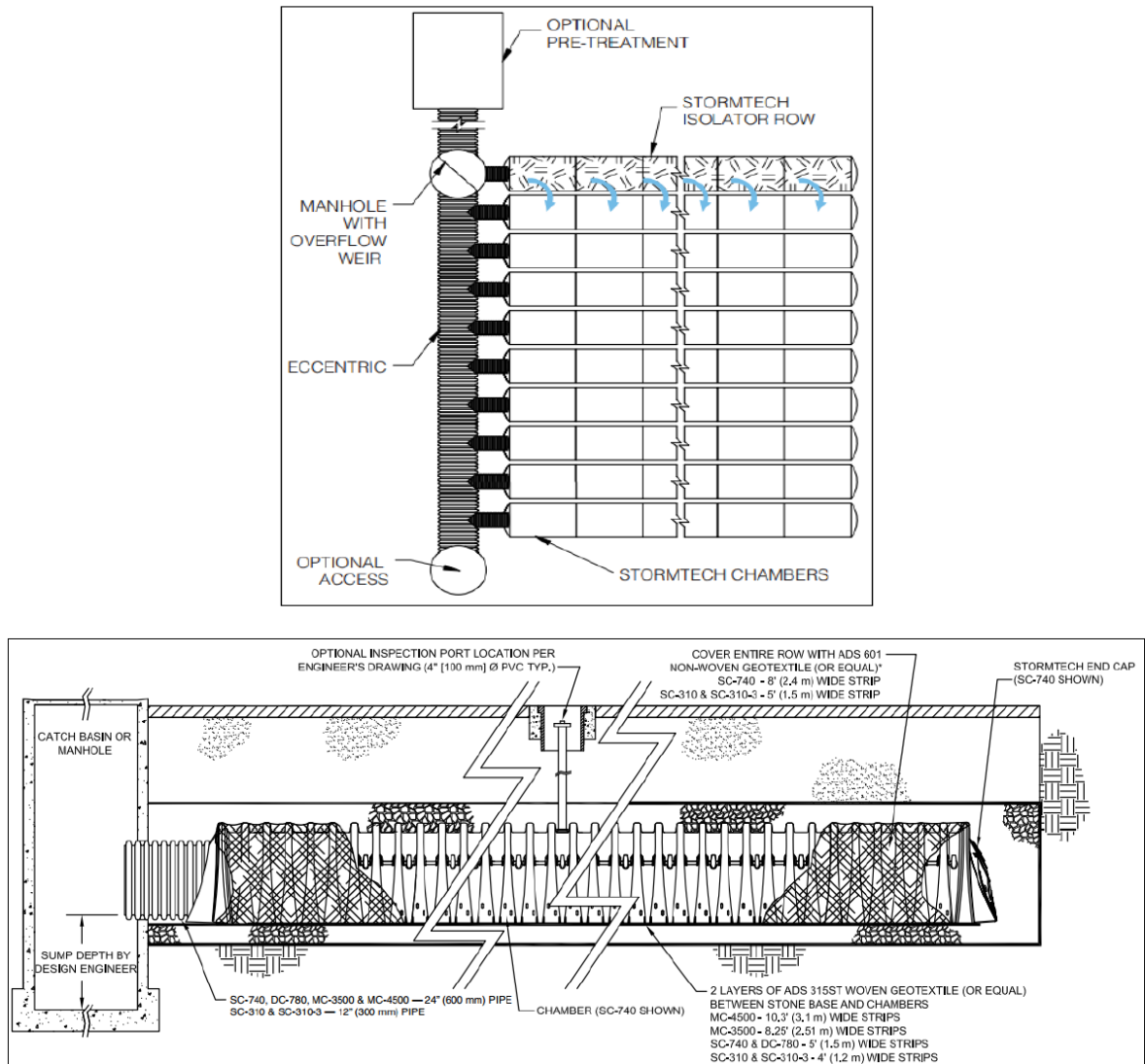
Fuente: <http://www.cmhc-schl.gc.ca/popup/hhtoronto/suppl.htm>.

➤ **Estados Unidos, Sistema Stormtech (ADS Tigre)**

Se calcula que los sistemas de aprovechamiento pluvial son implementados por más de medio millón de personas en más de 15 estados y territorios de Estados Unidos; el agua es reutilizada para consumo doméstico, comercial, industrial, agrícola; muchas compañías son especializadas en el diseño y construcción de estos sistemas.

El sistema StormTech es una tecnología desarrollada en Estados Unidos para el aprovechamiento pluvial, este se compone de cámaras que hacen parte de un sistema encaminado para la acumulación de aguas lluvias bajo superficie, fabricados en polipropileno y polietileno virgen. Es principalmente utilizado bajo estacionamientos, carreteras y cargas de tierra pesadas ahorrando valiosas extensiones de área superficial, con lo cual se aprovecha en gran parte el agua lluvia para uso comercial y municipal. El sistema consiste en la construcción de túneles de infiltración enterrados, instalados de forma paralela maximizando el almacenamiento e infiltración de aguas lluvias para su aprovechamiento.

Figura 21: Detalle Sistema StormTech.



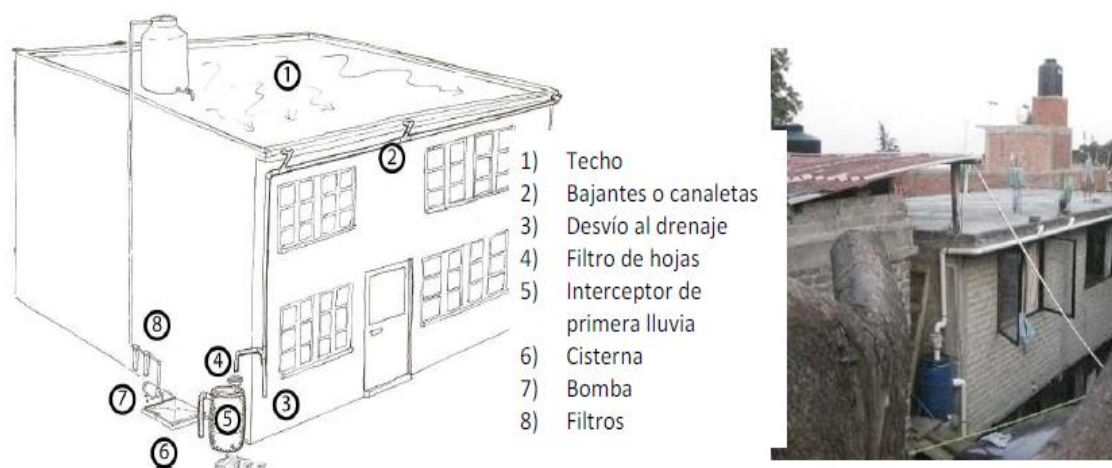
Fuente: CALLE MAESTRE Yair , ARCHILA MENDOZA Omar , VARGAS RUIZ Jhon. (2014). Analisis de la tecnologia apropiada para la disposicion de aguas lluvias. Caso de estudio Parque Industrial Santo Domingo del Municipio de Mosquera - Cundinamarca.

➤ **México, captación en viviendas.**

En México en diversas zonas se han desarrollado proyectos de aprovechamiento de aguas lluvias, uno muy reconocible es el destacado “Isla Urbana” situado en la Delegación de Tlalpan consistiendo en una manera de volver la ciudad de México en una ciudad sustentable captando y aprovechando la lluvia a gran escala; la instalación de sistemas de captación en zonas de bajos recursos reducen el gasto

económico de muchas familias y han creado una cultura de cuidado y reutilización del agua.¹⁵

Figura 22: Sistema de captación del proyecto Isla Urbana, 2011



Fuente: SUAREZ BALLEEN Jose Alejandro, GALARZA GARCIA Miguel Angel, ORTIZ MOSQUERA Rafael Orlando. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

➤ **Honduras, Cisternas recolectoras.**

En Tegucigalpa, Honduras se manifiestan condiciones económicas muy diferentes, predominando situaciones de pobreza crítica y serias limitaciones en cuanto al servicio de agua y saneamiento; en muchas viviendas se pueden encontrar sistemas precarios de aprovechamiento pluvia llamados “cisternas recolectoras”; no siendo muy avanzados y elaborados con materiales de la región logran satisfacer necesidades de agua en las regiones.

¹⁵ SUAREZ BALLEEN Jose Alejandro, GALARZA GARCIA Miguel Angel, ORTIZ MOSQUERA Rafael Orlando. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

Figura 23: Cisternas Recolectoras en Honduras.



Fuente: Hidropluviales. Obtenido de <http://hidropluviales.com/captacion-en-el-mundo/> 2015

Estos sistemas son algo similares a los Rojinson implementados en Japón; comparten los mismos principios de captación y almacenamiento.

➤ **República Dominicana**

Con una situación similar a la de Honduras, varias ONG's ayudan a construir sistemas de captación tradicionales de aguas lluvias en más de 500 hogares.

Figura 24: Sistemas de captación económicos construidos con ayuda de ONG's.



Fuente: Antecedentes de la Captación del agua de lluvia. Dr. Manuel Anaya Garduño.2009

➤ Nicaragua

Estudios realizados evidenciaron que en el 2010 Solo el 28% de la población rural posee acceso al agua; dichas comunidades implementan la captación de aguas lluvias junto con cisternas rectangulares con volúmenes aproximados de 36m³ techadas con teja de barro. Se pueden apreciar un ejemplo de estos en la siguiente figura.

Figura 25: Cisternas rectangulares



Fuente: Antecedentes de la Captación del agua de lluvia. Dr. Manuel Anaya Garduño.2009

6.2.6 Oceanía e islas

➤ Australia

Australia es un país que enfrenta 2 situaciones problemáticas respecto a la falta de suministro de agua, en ciertas zonas rurales la densidad de población es muy baja; el sistema de acueducto debe recorrer varios kilómetros de tubería; volviéndose una alternativa costosa y de difícil implementación e incluso en algunos lugares remotos no pueda llegar el servicio. En dichas zonas se empezaron a implementar sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias como solución a esta dificultad. Por otro lado en las grandes ciudades se presenta escasez de agua, aumento de población y fracaso en aumentar las reservas superficiales; agravando la situación el cambio climático, provoca que muchas ciudades padezcan del suministro correcto. Esta situación lleva a políticas de control que limite el uso del agua, planes de concientización y enseñanza para el aumento de interés por parte de la población hacia la protección y preservación del agua en conjunto con la construcción de sistemas de captación de lluvias con precios especiales y ayudas gubernamentales.

En 1994 la oficina Australiana de Estadística reporto que el 30.4% de las viviendas en zonas rurales y el 6.5% en ciudades utilizaban sistemas de aprovechamiento pluvial; el 13% utilizándolo para usos potables.

Ante la escasez de agua; en gran parte del país es requisito la instalación de tanques de almacenamiento en las nuevas construcciones junto con normas de preservación y cuidado. Estos generalmente son de una capacidad de 3.000 litros que deben ir conectados a lavadoras y sanitarios; además en estados como Queens Land se ofrece descuentos de 1.500 dólares para personas que instalen sistemas de aprovechamiento pluvial en sus casas.¹⁶

Figura 26: Tanque circular de Almacenamiento en zona rural de Australia



Fuente: Hidropluviales. Obtenido de <http://hidropluviales.com/captacion-en-el-mundo/> 2015

Poblaciones de las Islas de San- Andrés, Bermudas, Micronesia, Rapa-Nui, islas vírgenes poseen pocas fuentes de agua superficial e implementan en gran medida los sistemas tradicionales de captación pluvial en viviendas como forma de suministro

¹⁶ PETERSEN Nissen, GOULD. (1999). Clasificación general de los sistemas de captación de lluvia.

7. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL EN COLOMBIA

Colombia es un país muy conocido por poseer un gran recurso hídrico; muchas poblaciones obtienen el agua proveniente de ríos, embalses, lagos y quebradas. Sin embargo existen comunidades con grandes problemas de abastecimiento de agua potable que recurren a sistemas de aprovechamiento de lluvias, pero estos sistemas no son muy bien elaborados y no garantizan la calidad del agua ni su correcto funcionamiento. Estudios realizados por la comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico de Colombia en comunidades como Bocana en Buenaventura, poblaciones de las regiones de Cartagena, Vichada y Cali en el transcurso del 2015 se han venido reportando varios problemas de salubridad respecto al agua que se consume.

Los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias se pueden dividir de acuerdo a su complejidad; los sistemas a corto plazo se conforman de la recolección del agua lluvia en las cubiertas de viviendas y posteriormente depositada en un tanque de almacenamiento, luego se posee una red de distribución la cual controla el paso del agua potable y el agua lluvia; esta última solamente para usos no potables.

Los sistemas a largo plazo, en cambio poseen un sistema de filtrado adicional el cual potabiliza el agua y nuevamente es suministrada para consumo, estos benefician más el costo del servicio del acueducto y amplían en gran cantidad la oferta de agua, también requieren de mayor mantenimiento todos sus componentes.

Por otra parte, existen empresas colombianas que siguen las tendencias de la construcción y el desarrollo sostenible; generando obras que son amigables con el medio ambiente; certifican sus edificaciones y procedimientos a través de instituciones internacionales que avalan su calidad y sostenibilidad. Certificados como el Leed Leadership in Energy and Environmental Design (Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental) fue creado por el U.S Green Building Council (Consejo Estadounidense de Construcción Verde. Evidencian su compromiso por el medio ambiente en ayuda de las últimas tecnologías respecto al desarrollo sostenible; buscando reducir la huella ambiental del procedimiento constructivo y crear edificaciones que impulsen el manejo de residuos de forma adecuada, el ahorro de agua, energía y reducción de contaminantes.¹⁷

¹⁷ CALLE MAESTRE Yair , ARCHILA MENDOZA Omar , VARGAS RUIZ Jhon. (2014). Analisis de la tecnologia apropiada para la disposicion de aguas lluvias. Caso de estudio Parque Industrial Santo Domingo del Municipio de Mosquera - Cundinamarca. Trabajo de grado para obtener el titulo de especialista en Recursos Hidricos. . Bogota D.C. Universidad Catolica de Colombia. Facultad de Ingenieria.

En Colombia la institución encargada de evaluar los procesos de construcción sostenible es el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible CCCS. El cual se compone de 178 miembros, entre ellos empresas constructoras, fabricantes de insumos, instituciones educativas, etc.

Existen varias construcciones Certificadas realizadas en Colombia que poseen excelentes sistemas pluviales y han satisfecho la demanda en gran medida. A continuación se presentaran y se expondrán algunos de los sistemas más relevantes y de gran envergadura:¹⁸

7.1 EJEMPLOS DE CAPTACIÓN EN COLOMBIA

7.1.1 Sede Bancolombia Medellín

El edificio de mayor tamaño construido que posee la certificación Leed EB: OM v2009, es la sede de Bancolombia en Medellín; tiene un área construida de 138.101m², una capacidad para 4.200 empleados, conformado por 2 torres intercomunicadas por un túnel y dos puentes dobles con 13 y 4 pisos por torre, la sede permite el ahorro de 50% de la energía eléctrica gracias al manejo del flujo del aire y de luz natural.

Figura 27: Sede Bancolombia Medellín



Fuente: Flickr. Obtenido de:

<https://www.flickr.com/photos/dairocorrea/3843685522> 2016

¹⁸ (BALLEN SUAREZ Jose Alejandro, GALARZA GARCIA Miguel Angel, ORTIZ MOSQUERA Rafael Orlando, 2006) Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

Es uno de los grandes ejemplos en Colombia entorno a las construcciones sostenibles y caso de estudio para futuros proyectos, la edificación está completamente automatizada en sistemas hidrosanitarios contando con red de riego, electroválvulas, aguas de condensación y recolección de aguas lluvias que cooperan con el sistema de aire acondicionado en la estructura aparte un sistema óptimo contra incendios que también funciona con estas aguas.¹⁹

7.1.2 Edificio Farmacéutica Novartis Sede Multinacional en Bogotá

Ubicada al norte de Bogotá, la sede de la Multinacional Farmacéutica, fue la primera en poseer la certificación LEED en la escala Plata, otorgada por el US Green Building Council, USGBC (Consejo de Construcción Sostenible en Estados Unidos); se destacan los procesos de implementación de energías alternativas, con una reducción significativa del impacto al medio ambiente y en el consumo de agua. Posee 9.700m² repartidos en doce pisos, dos sótanos con 114 parqueaderos y la primera cubierta verde certificada en Bogotá.²⁰

¹⁹ GRUPO BANCOLOMBIA. Eficiencia energetica y construccion sostenible edificio direccion general. (2016). Obtenido de http://www.upme.gov.co/Eventos/URE_2011/Franco_Piza_Edificio_Bancolombia.pdf

²⁰ BAY BAYONA Y ASOCIADOS. (2016). La nueva sede de la farmaceutica novartis es la primera edificacion en recibir la certificacion internacional LEED. Obtenido de <http://www.bay.com.co/2010/08/la-nueva-sede-de-la-farmaceutica-novartis-es-la-primera-edificacion-colombiana-en-recibir-certificacion-internacional-leed/>

Figura 28: Farmacéutica Novartis, Bogotá



Fuente: Arquitecto Nicolás Camacho. Obtenido de http://www.arquitectonicolascamacho.com/portfolio_page/edificio-novartis-sede/ 2016

En Bogotá en los últimos años son cada vez más las edificaciones y empresas interesadas en poseer la certificación LEED; buscando que sus operaciones impartan menos contaminación, daño al medio ambiente y deterioro de los recursos. Existen más de 100 proyectos registrados, 21 de ellos avalados y 9 con sello de oro, en esta categoría se encuentran varias edificaciones pertenecientes a Universidades, Hoteles, Industrias, Cajas de compensación en grandes ciudades como Bogotá, Bucaramanga, Medellín y otras más pequeñas como Girardot, Pereira y Palmira.

7.1.3 Edificio Ecobranh Avon Centro de Distribución Antioquia

Situado en el municipio de Guarne, Antioquia, posee la certificación Leed clase Oro, este cuenta con aproximadamente 27.000m², contiene 2 grandes bodegas y un edificio de operaciones administrativas, dispone de un amplio programa de reciclaje de materiales resultantes del proceso constructivo; sistema de cubiertas que canalizan el agua lluvia para ser posteriormente reutilizada en sanitarios, un gran tanque de almacenamiento, planta de tratamiento de aguas residuales continua con una eficiencia mayor al 95%, un gran diseño de paisajismo con especies nativas que no implican el mayor consumo de agua por riego.²¹

²¹ (CCCS, CONSEJO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE. (2015). Estudios de caso centro de distribucion Ecobranh AVON. Obtenido de <https://www.cccs.org.co/estudios-de-caso/proyectos/342-centro-de-distribucion-ecobranh-avon>

Figura 29: Ecobranch Avon Antioquia.



Fuente: Portafolio. Obtenido de:
<http://m.portafolio.co/negocios/empresas/herramienta-impulsa-sostenibilidad-141122>. 2016

7.1.4 Colegio Rochester en Chía

El Colegio se encuentra en el municipio de Chía, Cundinamarca, la estructura posee un diseño y sistemas para reducir el consumo del agua potable, calentamiento inteligente con energía solar de las dos piscinas y los dos vestieres del centro acuático, mínimo consumo de energía, iluminación natural indirecta e iluminación automática LED de bajo consumo de mercurio, aislamiento acústico entre espacios con pisos, cielorrasos y ventanas acústicas, planta propia de tratamiento de aguas residuales, esta trata todas las aguas de la operación diaria y son reutilizadas en descargas de sanitarios y paisajismo, pintura y pegantes que no contaminan el aire y manejo sostenible de residuos orgánicos e inorgánicos.²²

La edificación cuenta con un diseño que le otorga beneficios hidráulicos, un sistema que controla las escorrentías por eventos de lluvias torrenciales, instalación de dispositivos ahorradores para duchas, lavamanos y sanitarios con el fin de reducir el consumo de agua.²³

²² SUAREZ ORTEGA Leidy Patricia, RODRIGUEZ HERRERA Jhon Jairo. (2014). Recolecion y rehutilizacion de aguas lluvias en viviendas de interes social y bajos recursos en el Barrio Yomasa en la ciudad de Bogota. Bogota D.C.

²³ COLEGIO ROCHESTER. (2015). Leed Primer Colegio Leed Gold en Latinoamerica. Obtenido de <http://www.rochester.edu.co/index.php/campus/leed>

Figura 30: Colegio Rochester en Chía.



Fuente: El tiempo. Obtenido de:
http://www.eltiempo.com/Multimedia/galeria_fotos/colombia9/GALERIAFOTOS-WEB-PLANTILLA_GALERIA_FOTOS-13637219.html. 2016

7.1.5 Almacén Alkosto Villavicencio y Almacén Alksoto Venecia Bogotá.

Almacén Alkosto en Villavicencio, posee una cubierta de 1.061m² y un tanque de almacenamiento de 150m³ junto con un óptimo sistema de desinfección obteniendo agua potable con buena calidad para satisfacer la demanda anual del almacén.

Almacén Alkosto en Venecia de Bogotá, con una cubierta de 6.000m² logrando satisfacer un 75% de la demanda anual de la edificación.

7.1.6 Edificio de postgrados de ciencias humanas de la Universidad Nacional sede Bogotá.

El Edificio de postgrados de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional en Bogotá; sus dependencias están organizadas en tres espacios abiertos y un vestíbulo central que las intercomunica, por el norte con una sala de lectura atravesando el patio circular y un espejo de agua, por el occidente con salones de exposiciones junto a la cafetería en el piso inferior y jardines en los pisos superiores, en el sur las aulas, las aulas de seminarios y 2 auditorios, el segundo piso cuenta con 4 auditorios, 8 salas de seminarios, el tercer piso con las dependencias de investigación y un auditorio al aire libre 2 apartamentos y una terraza jardín; cuenta con un sistema de cubierta protegía con grava que capta el agua lluvia y la transporta a un tanque subterráneo, desde el cual se bombea y se reutiliza en inodoros y fuentes. La edificación está construida con estructura de hormigón color

ocre y ladrillo del mismo tono; área cubierta de 11.000m²; 7.500m² en cubículos y estacionamientos con 3.500m².²⁴

Figura 31: Edificio postgrados Universidad Nacional



Fuente: Aquicorbuister. Obtenido de <http://arquicorbusier.blogspot.com.co/2011/07/fotos-edificio-de-postgrados.html>. 2016

²⁴ SUAREZ ORTEGA Leidy Patricia, RODRIGUEZ HERRERA Jhon Jairo. (2014). Recolecion y rehutilizacion de aguas lluvias en viviendas de interes social y bajos recursos en el Barrio Yomasa en la ciudad de Bogota. Trabajo de grado ingenieria civil. Universidad Catolica de Colombia. Bogota D.C.

7.2 ESTUDIOS DE CAPTACIÓN Y EVALUACIONES ECONOMICAS DE AGUAS LLUVIAS REALIZADOS EN ANTIOQUIA

En vista del constante deterioro de los recursos hídricos en Colombia y la gran evidencia del impacto positivo de las construcciones amigables con el medio ambiente se han realizado diversas investigaciones; entre estas se encuentra la desarrollada por el departamento de Antioquia, en esta se resalta la importancia de implementar construcciones ecológicas, y recolección del agua lluvia para ser reutilizada y mejor aprovechada por los habitantes de la región y el país, se concluyó que la implementación de proyectos de construcción sostenible respecto al recurso hídrico y al aprovechamiento de aguas lluvias como fuente alternativa del recurso logran ser viables económica, ambiental y socialmente, la implementación del sistema de captación, almacenamiento y distribución de agua lluvia promueve consolidar la cultura del uso eficiente y racional del agua, al igual que mejorar el desempeño ambiental, a ello se le asocia la reducción de costos económicos vía tarifa de los servicios públicos, además de los beneficios ambientales.²⁵

Así como en Colombia otros países del mundo como Brasil se efectúan proyectos de investigación realizados por el sector hotelero, relativos a las construcciones sostenibles, con el fin de aprovechar mejor los recursos disponibles en especial el agua, buscando el proceso de adopción en la certificación “Leadership in Energy and Environmental Design” (LEED), a partir de establecimientos del sector hotelero que ya la adoptaron. Para su concreción se procedió a una investigación bibliográfica, recolección de datos secundarios en sitios web institucionales, periódicos y material documental, y recolección de datos primarios por medio de entrevistas semiestructuradas. Fueron 21 entrevistados - 02 del Green Building Council Brasil y 19 de medios de hospedaje (31% de los certificados). Los resultados permitieron identificar la cronología de los procesos de certificación y el perfil de las categorías hoteleras que adoptan el programa LEED. Además, las entrevistas posibilitaron la discusión de las motivaciones iniciales de busca por la certificación, así como las ventajas y los obstáculos percibidos respecto a su adopción.²⁶

²⁵ APROYAVE. (2015). Evaluacion economica de la captacion de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hidrico en la institucion Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552011000100007&lang=pt

²⁶ MIRNA DE LIMA Medeiros. (2015). Adopcion de la certificacion LEED en medios de Hospedaje enverdeciendo la Hoteleria . Obtenido de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75902012000200005&lang=es

8. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

El objetivo de este capítulo es analizar la calidad del agua lluvia para el consumo humano en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, en un principio delimitando su situación actual, posteriormente detallando los principales contaminantes de esta junto con las características y parámetros de calidad que debe poseer para un consumo admisible.

8.1 DESARROLLO Y ABASTECIMIENTO DE AGUA LLUVIA

El agua para consumo humano la podemos encontrar de diferentes fuentes como lo son las aguas superficiales (ríos, lagos, lagunas, humedales, arroyos, nacimientos), aguas subterráneas (en acuíferos bajo la superficie terrestre) y las aguas lluvias precipitas en el ciclo hidrológico están con muy baja contaminación y sin riesgo de agentes patógenos. La presión existente sobre el agua se debe a la demanda actual y la necesidad por mejorar la calidad en ciertas regiones, en algunas regiones como lo son la Guajira, el Atlántico y el Choco se sufre de falta de disponibilidad de agua y fuentes de extracción, generando conflictos entre las poblaciones.

Se evidencia que el recurso hídrico en el planeta se ve claramente afectado por distintos factores que alteran el equilibrio natural y el desarrollo, la acción del ser humano, el crecimiento de la población, cambios demográficos, el cambio climático, la contaminación, desarrollo industrial complican el desarrollo sostenible y ponen en peligro también la vida de otras especies.

El inadecuado uso y la falta de concientización por parte de la población son 2 factores agravantes de la situación actual en zonas urbanas y rurales, existe la idea errónea entorno al agua considerando a esta un recurso natural renovable, no es correcto realizar esta afirmación ya que no se considera la capacidad de recuperación de esta respecto a la demanda que genera la población y la calidad que debería tener. El vertimiento de aguas residuales sin tratamiento previo en fuentes superficiales agrava el problema, las opciones disponibles para la obtención de agua potable se ven reducidas cada vez más.

El agua lluvia es esencial en el ciclo hidrológico; su composición la hace aceptable para el ser humana sin requerir un gran proceso de desinfección; el Ph del agua lluvia es de aproximadamente 5'6, en ocasiones algo más alto debido al polvo arrastrado por el viento, también se puede presentar el fenómeno llamado lluvia acida que es ocasionado por la presencia de óxidos de nitrógeno y azufre presentes en el aire ocasionada por la contaminación industrial, al mezclarse con

el agua en forma de vapor se forman ácidos sulfúricos y nítricos comprendiendo rangos de pH de 4'2 y 4'4. Las lluvias son las encargadas de nutrir los ríos, acuíferos, pantanos y demás reservas hídricas de los que el ser humano dispone normalmente para la obtención de agua potable.

Algunas de las ventajas del abastecimiento con aguas lluvias son las siguientes:

- Los sistemas de aprovechamiento pluvial no requieren gran gasto de energía para operar.
- El agua lluvia es gratis, son bajos los costos de operación, recolección, almacenamiento y distribución.
- Alta calidad físico-química del agua lluvia a comparación de otras fuentes.
- Facilidad en la construcción de los sistemas, se pueden utilizar materiales y mano de obra de la región.
- No requiere complejos sistemas de distribución.
- El agua lluvia es un agua blanda para la limpieza y sistemas de distribución.
- Se reducen y controlan en cierta medida las inundaciones y la erosión.
- El agua lluvia es ideal para cultivos y jardines.
- Se reduce el costo de agua suministrada por el acueducto de la región.
- Es una tecnología económica y amigable con el medio ambiente.

Las desventajas que pueden llegar a presentarse son:

- Depende en gran medida de la precipitación del lugar.
- Implica costos iniciales de construcción del sistema y dependiendo su complejidad algo elevados, lo que puede complicar su construcción para algunas poblaciones.

8.2 CONTAMINACION DEL AGUA

El crecimiento de la población junto con la actividad industrial son dos factores que han llevado a deteriorar la calidad del agua de las fuentes superficiales y subterráneas, en consecuencia se han ido destruyendo ecosistemas naturales y perjudicando las reservas hídricas de estos, limitando cada vez más la disponibilidad de agua potable para ciertas comunidades.

Existen diversas regulaciones y procedimientos en Colombia para evitar u mitigar dicha contaminación de las fuentes de agua procedentes de actividades domésticas, industriales, agropecuarias y mineras, los agentes pueden ser varios, pueden clasificarse en

- **De procedencia Humana:** Actividades que desarrolla el ser humano que contaminan las reservas de aguas. Estas pueden provenir de la agricultura, actividades recreativas, pesca y la industria, esta última contaminación

siendo la de más grande impacto ya que dependiendo la industria esta genera diversos residuos o agentes contaminantes como lo son: metales pesados, cianuros, hidrocarburos, sólidos en suspensión, materia orgánica, disolventes, grasas, aceites, fluoruros, amoníaco, nitratos, fosfatos y demás productos químicos de la operación. Vertidos domésticos, es otra actividad de gran impacto, las aguas residuales de las viviendas llevan consigo contaminantes como materia orgánica, virus, bacterias, residuos de limpieza, nitratos, sales, ácidos. La ganadería y la agricultura dos actividades muy presentes en las zonas rurales del país generan contaminantes provenientes de fertilizantes y plaguicidas, residuos de la actividad ganadera como lo son cloruros, fosfatos y demás metales pesados afectan la calidad del agua. La industria petrolera es otra de gran impacto, en los últimos años se han venido desarrollando planes amigables con el medio ambiente con el cual se puedan regular sus actividades, pero no obstante existen vertimientos accidentales en ecosistemas acuáticos que ocasionan daños de gran magnitud.

- **Contaminación natural:** Es la producida por agentes naturales como lo pueden llegar a ser desechos orgánicos de animales, heces, animales descompuestos, también la presencia de nutrientes vegetales pueden llegar a estimular el crecimiento de plantas acuáticas, estas interfieren con la utilización del agua y agotan el oxígeno disuelto en esta, minerales y compuestos químicos naturales perjudiciales para animales y el ser humano, compuestos como el mercurio se encuentra de forma natural en la corteza de la tierra y en los océanos grandes concentraciones se consideran una presencia contaminante, el clima y crecimientos microbiológicos son factores también a tener en cuenta.

8.2.1 Principales agentes de contaminación hídrica

Sustancias químicas inorgánicas: Sustancias como sales, ácidos y metales tóxicos como el plomo y el mercurio, en cantidades altas perjudican a los seres vivos y afecta el rendimiento de equipos de trabajo con el agua.

Sustancias radioactivas: Pueden estar presentes en el agua isótopos radioactivos solubles, en concentraciones altas desencadenan cáncer en animales y el ser humano.

Microorganismos patógenos: Bacterias, virus, protozoos y otros microorganismos componen este grupo, transmiten enfermedades como el tifus, cólera, gastroenteritis, hepatitis, en algunos casos muerte prematura en niños, normalmente son provenientes de materia fecal y restos orgánicos.

Desechos orgánicos: Residuos orgánicos producidos por seres humanos o animales. Incluyen heces y materiales que puedan ser descompuestos por bacterias

aeróbicas, estas bacterias en exceso pueden llegar a agotar el oxígeno disuelto en el agua ocasionando la muerte de peses y demás seres vivos.

Sedimentos y materiales suspendidos: Partículas arrancadas y materiales arrastrados por el agua que posteriormente quedan en estado de suspensión, provocan aumento de la turbidez dificultando la vida de algunos organismos y obstruyendo el flujo del agua.

Nutrientes vegetales inorgánicos: Sustancias solubles en el agua que las plantas usan para su desarrollo como Fosfatos y nitratos, en cantidades altas producen un crecimiento desmesurado de algas ocasionando el efecto conocido como eutrofización(ecosistemas con una abundancia anormal de nutrientes que producen un efecto de reducción de la biodiversidad y dificultan el desarrollo de otros seres vivos) al morir estas algas y ser descompuestas por microorganismos, agotan el oxígeno disuelto e impide el desarrollo de otros seres vivos, el agua se vuelve inutilizable y de mal olor.

Compuestos inorgánicos: Moléculas como petróleo, aceites, gasolina, plásticos, disolventes, detergentes, poseen estructuras moleculares complejas que son difíciles de degradar por microorganismos

Contaminación térmica: Al aumentar la temperatura del agua ya sea por factores naturales u industriales disminuye la capacidad de contener oxígeno y afecta la vida de los organismos.²⁷

8.2.2 Contaminación del agua lluvia

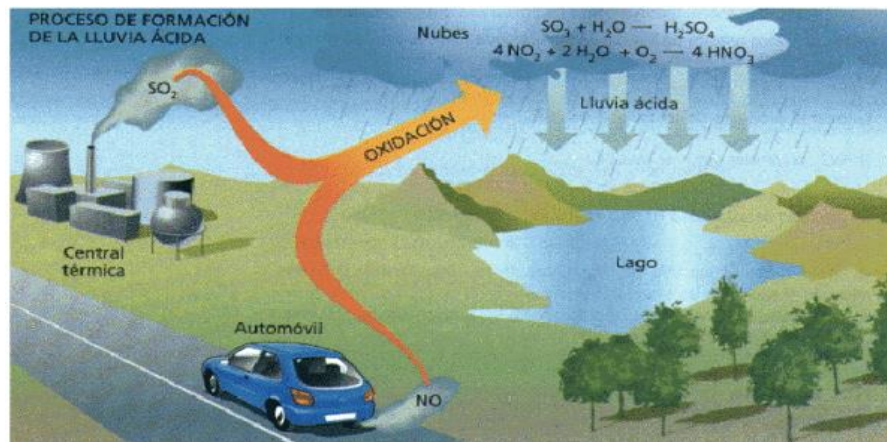
La actividad industrial muchas veces es la principal fuente de contaminación de las fuentes de agua al arrojar sus desechos en estas, el agua se vuelve no potable y perjudicial para los seres vivos, los químicos disueltos son invisibles y muy difíciles de detectar estos ocasionan el fenómeno llamado lluvia acida.

La lluvia acida es un fenómeno que se forma cuando los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y el trióxido de azufre emitidos por fábricas y vehículos que queman carbón o derivados del petróleo se combinan con la humedad en el aire, interactuando con el agua lluvia en la atmosfera forman acido sulfuroso, ácidos nítricos y ácido sulfúrico, posteriormente se precipitan a la tierra constituyendo la lluvia acida. Los contaminantes que dan origen a la lluvia acida pueden recorrer grandes distancias gracias a los vientos, la lluvia normal posee un pH aproximado de 5.65, debió a la presencia del CO₂ atmosférico, formando ácido carbónico H₂CO₃ en comparación con la lluvia acida, esta presenta pH menores a 5 y puede

²⁷ https://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_h%C3%ADrica. (11 de Abril de 2016).

llegar a alcanzar valor de 3. En la siguiente imagen se puede ver el esquema general de la lluvia acida.

Figura 32: Esquema lluvia acida



Fuente: El blog verde. Obtenido de <http://elblogverde.com/que-es-la-lluvia-acida/>.
(11 de Abril de 2016).

Los efectos de la lluvia acida provocan una acidificación de las aguas en los ríos y lagos, dañando a los animales y las plantas que los habitan, en la tierra dificulta el crecimiento de las plantas y favorece la presencia de enfermedades y plagas, el suelo sufre una reducción de nutrientes y se liberan elementos tóxicos como el magnesio y el aluminio, mueren diversos microorganismos que hacen parte del equilibrio en los ecosistemas. La lluvia acida al contacto con el ser humano no ocasiona efectos directos nocivos, pero se han registrado que exposiciones continuas son causantes de enfermedades respiratorias y del corazón, junto con problemas en la piel. La siguiente imagen ilustra algunos efectos en un bosque debido a la lluvia acida.

Figura 33: Efectos lluvia acida



Fuente: El blog verde. Obtenido de <http://elblogverde.com/que-es-la-lluvia-acida/>.
(11 de Abril de 2016).

Es importante al momento de construir un sistema de captación de aguas lluvias haber realizado las pruebas de laboratorio previas de la calidad del agua lluvia, con dichos resultados plantear el sistema y el tratamiento que se va a efectuar. El agua recolectada también puede contaminarse fácilmente si no se manejan las medidas de higiene y limpieza adecuadas.

8.3 CARACTERISTICAS DEL AGUA POTABLE

El agua potable debe tener ciertas propiedades que la hagan aceptable y saludable para ser consumida por el ser humano, en su estado natural contiene variedad de sustancias químicas, físicas y organismos microbiológicos algunos de estos perjudiciales para la salud, por eso es necesario delimitar el uso que se le dará y establecer el tratamiento adecuado con el fin de cumplir los requisitos establecidos.

Según la Organización Mundial de la Salud las características del agua se pueden clasificar en:

8.3.1 Propiedades Físicas

El agua potable debe cumplir con ciertas características físicas que la hagan agradable para el consumo y a su vez no ser perjudicial para la salud. Algunas de las más relevantes son:

- **Color:** El color del agua se debe a la presencia de sustancias orgánicas o minerales disueltas en esta (sales, hierro, magnesio, elementos de origen vegetal, etc.), como tal algunos compuestos no perjudican la salud humana, pero si le da un aspecto desagradable.
- **Sabor:** El sabor del agua debe ser neutro y agradable para el consumo.
- **Turbiedad:** Es la transparencia del agua debido a partículas en suspensión, la presencia de sólidos disueltos reduce la penetración de luz y minimiza la incorporación de oxígeno disuelto en la fotosíntesis.
- **Olor:** También es producto de la presencia de materia orgánica en algunos casos en descomposición y sustancias químicas volátiles.
- **Densidad:**
- **Punto de congelación:** 0°C
- **Punto de ebullición:** 100° C
- **Presión crítica:** 217.5 atm
- **Temperatura crítica:** 374 °C

8.3.2 Propiedades Químicas

El agua en su estado natural posee gran cantidad de compuestos químicos disueltos, algunos perjudiciales para la salud del ser humano y otros no; otros dependen de su concentración y su exposición prolongada. Debido a su gran capacidad disolvente se pueden considerar las siguientes características:

- Reacciona con los metales
- Reacciona con no metales
- Reacciona con los óxidos ácidos
- Reacciona con los óxidos básicos
- Se une a las sales

8.3.3 Propiedades Microbiológicas

El agua contiene diversos microorganismos en su estado natural, algunos causantes de enfermedades y demás complicaciones en la salud. La presencia de materia fecal siempre es un indicador de patógenos como bacterias, virus, helmintos hongos y protozoos. Las siguientes tablas, tabla 1 y tabla 2 muestran los estándares de calidad del agua potable según la Organización Mundial de la salud y los criterios adoptados en Colombia según el RAS 2000, Sección II, Título B Y adoptados por Jairo Romero en Potabilización del Agua.

Tabla 1: Estándares de calidad de agua potable dados por la OMS.

Determinante	Unidades	OMS
Coliformes Fecales	UFC/1000ml	0
Coliformes Totales	UFC/1000ml	0
Turbiedad	UNT	5
Color	UCV	15
Ph		6,5-8,5

Fuente: Organización Mundial de la Salud.

Tabla 2: Criterios de calidad para destinación del consumo humano y domestico mg/l en Colombia. Normas de calidad de agua potable, Decreto 474/98

Características	Valor máximo Admisible	Procedimientos analíticos recomendados		Parámetros de comparación de la calidad de la fuente recomendados según el nivel calidad de la fuente			
		Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Aceptable	2. Regular	3. Deficiente	4. Muy deficiente
MICROBIOLÓGICAS							
Coliformes totales UFC/100 cc	0			X	X	X	X
Escherichia coli UFC/100 cc	0		D 5392			X	X
ORGANOLÉPTICAS Y FÍSICAS							
pH	6.5 – 9.0		D 1293	X	X	X	X
Turbiedad UNT	5	4707	D 1889	X	X	X	X
Color verdadero – UC	15			X	X	X	X
Conductividad US/cm	50 – 1.000		D 1125	X	X	X	X
Sustancias flotantes	Ausentes			X	X	X	X
Olor y sabor	Ninguno		D 1292	X	X	X	X
QUÍMICAS CON EFECTOS ADVERSOS EN LA SALUD HUMANA							
Fenoles totales – mg/L	0.001	4582	D 1783				X
Grasas y aceites– mg/L	Ausentes	3362	D 4281				X
Aluminio – mg/L	0.20		D 857				X
Nitratos – mg/L	10		D 3867				X
Nitritos – mg/L	0.1		D 3867	X	X	X	X
Antimonio – mg/L	0.005		D 3697				X
Arsénico – mg/L	0.01		D 2972				X
Bario– mg/L	0.5		D 4382				X
Cadmio – mg/L	0.003		D 3557				X
Cianuros totales – mg/L	0.1	1312	D 2036				X
Cobre – mg/L	1.0		D 1688				X
Cromo hexavalente – mg/L	0.01		D 1687				X
Mercurio – mg/L	0.001		D 3223				X
Níquel – mg/L	0.02		D 1886				X
Plomo – mg/L	0.01		D3559				X
Selenio – mg/L	0.01	1460	D 3859				X
Sustancias activas al azul de metileno– mg/L AB5	0.5		D 2330				X
PLAGUICIDAS Y OTRAS SUSTANCIAS							
Tóxicos tipo I– mg/L	0.001						X
Tóxico tipo II y III– mg/L	0.01						X
Baja toxicidad– mg/L	0.1						X
Trihalometanos totales– mg/L	0.1						X
QUÍMICAS CON EFECTO INDIRECTO SOBRE LA SALUD HUMANA							
Alcalinidad total – mg/L	100		D 1067	X	X	X	X
Acidez – mg/L	50		D 1067	X	X	X	X
Dureza total– mg/L	160	4706	D 1126	X	X	X	X
Calcio– mg/L	60		D 511	X	X	X	X
Magnesio– mg/L	36		D 858	X	X	X	X
Cloruros– mg/L	250		D 512	X	X	X	X
Sulfatos – mg/L	250	4708	D 516	X	X	X	X
Hierro total– mg/L	0.3		D 1068	X	X	X	X
Manganeso	0.1		D 858			X	X
Fosfatos	0.2		D 515			X	X
Zinc	5		D 1691				X
Fluoruros (mg/L)	1.2		D 1179				X

Fuente: RAS 2000 Seccion II, Titulo B

8.4 DEMANDA Y USOS DEL AGUA

El abastecimiento de agua es una necesidad fundamental en todas las poblaciones y determinar la demanda requerida es un factor clave para su correcta implementación. Dependiendo la actividad a la que será destinado el consumo de agua se evalúa la cantidad necesaria de litros, actividades como la agricultura y la ganadería requieren bastas cantidades de agua, algunas industrias y fuentes de energía mucha más. En los hogares se suelen analizar consumos realizados por actividades como son el agua para beber, cocina, aseo personal, lavado y limpieza, jardines y otros, cada uno con una cantidad y calidad diferente, no es la misma calidad requerida para el riego de jardines que para la cocina y el consumo potable. La siguiente figura 34 ilustra la cantidad necesaria de litros para determinadas actividades en un hogar.

Figura 34: Consumo doméstico por persona



1 a 3 litros
para beber



2 a 3 litros para preparar
alimentos y lavar los trastos



6 a 7 litros para el
aseo personal



4 a 6 litros para
lavar la ropa

Fuente: Conant Jeff. (2012). Agua para vivir.

Según la Organización Mundial de la salud la cuota mínima para una persona al día son 7 litros de agua; analizando sus demás consumos en promedio una persona al día requiere alrededor de 16 – 20 litros para satisfacer todas sus necesidades de agua. Algunos lugares y demás establecimientos públicos como lo son edificios empresariales, colegios, centros de salud requieren una mayor cantidad.

La dotación estimada para la elaboración de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias es función de varios factores como:

- Región urbana o rural
- Clima de la zona
- Usos requeridos del agua
- Existencia y calidad del sistema de acueducto y alcantarillado
- Pérdidas calculadas

Debido a la variabilidad de estos factores cada sistema debe ser único respecto a la región que se va a implementar.

8.5 CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

El agua lluvia pura es poco frecuente encontrarla, debido al nivel de contaminación en la atmosfera local esta puede variar en su composición, como vimos anteriormente puede arrastrar pequeñas partículas, microorganismos, sustancias orgánicas, metales pesados y demás contaminantes, los cuales se precipitan en la lluvia. Aparte de estos agentes también se deben tener en cuenta posibles contaminantes en las zonas de captación y la infraestructura de aprovechamiento, acentuándose más estos cambios en las zonas urbanas que en las rurales.

8.5.1 Análisis de la calidad

Conociendo que la captación del agua lluvia es un procedimiento que puede ser contaminado por los diversos agentes que se han mencionado, es recomendable efectuar exámenes de calidad del agua recolectada y su evolución en el tiempo de almacenamiento, se deben realizar diagnósticos periódicos de la calidad analizando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con base al uso que se le va a dar y compararlos con los parámetros establecidos en la norma Colombiana de calidad de agua potable y otros sus de esta. (REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS 2000. SECCION II TITULO D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales).

El control de la calidad empieza desde los materiales que se van a implementar en la construcción del sistema de aprovechamiento pluvial, diferentes estudios han determinado que materiales con alta tasa de contaminación son los techos de zinc, cobre, aluminio, madera. Algunos impermeabilizantes no se deben usar, aquellos que contengan derivados del petróleo u aceites como lo pueden ser ciertas pinturas. El diseño del sistema junto con su mantenimiento debe tener muy en cuenta la contaminación de la región.

8.5.2 Enfermedades en el agua

La presencia de microorganismos en el agua y demás sustancias pueden ser causantes de diversas enfermedades, estas pueden ser clasificadas como:

Enfermedades transmitidas por el agua: Ocasionadas por contaminación con desechos animales, humanos o químicos. Enfermedades como la cólera, tifoidea, shigella, hepatitis, diarrea; se pueden prevenir con el tratamiento correspondiente.

Enfermedades producto de la escasez de agua: Son propagadas debido a condiciones de baja salubridad y escasez de agua, algunas de estas son la tracoma, dermatitis.

Enfermedades con base u originadas en el agua: Son causadas por microorganismos presentes en el agua o parásitos animales que pasan parte del ciclo vital en esta, por ejemplo la esquistosomiasis.

Enfermedades de origen vectorial en el agua: Enfermedades transmitidas por vectores como lo son mosquitos, estos se desarrollan y viven cerca de aguas estancadas contaminadas y no contaminadas.²⁸

8.5.3 Procedimientos de potabilización

Los procesos de tratamiento a efectuar depende de los resultados en los estudios de la calidad del agua, los usos potables requerirán una mayor complejidad. En la actualidad estos procesos se enfocan de acuerdo a los parámetros y normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud y la normativa vigente en Colombia de Usos del agua y residuos líquidos establecida desde 1984. Por ejemplo detallan que si el agua analizada presenta altos índices de Sólidos Suspendidos Totales superiores a 40mg/L y un pH mayor de 7 unidades, se restringe el uso para riego agrícola superficial u ornamentales debido a posibles taponamientos en el sistema; si la turbiedad llega a ser superior a 5NTU no debe ser usada el agua para lavado de automóviles. Concentraciones altas de hierro (Fe) y Cadmio (Cd) superiores a 0.1mg/L y 0.01mg/L afectan la salud humana, igualmente con presencia de Nitrógeno amoniacal mayores a 1.0 mg/L. La siguiente tabla 3 detalla el tratamiento a realizar y criterio adoptado por la USPHS (United States Public Health Service Commissioned Corps) en relación con la calidad bacteriológica del agua a analizar.²⁹

²⁸ Castro Rosario, Perez Ruben. (2009). Saneamiento rural y salud. Guatemala: Organización panamericana de la salud.

²⁹ Estupiñán Perdomo Jorge Luis, Zapata García Héctor Ovidio. (2010). Tesis. Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá . Bogota.

Tabla 3: Requisitos de tratamiento

Grupo	Tipo de tratamiento	Contenido de bacterias coliformes
I	Ninguno	Limitado a aguas subterráneas no sujetas a ningún tipo de contaminación
II	Cloración	Promedio en cualquier mes 50/100 ml.
III	Completo con filtración rápida en arena y pos cloración	Promedio en cualquier mes 5000/100 ml sin exceder este valor en más del 20% de las muestras analizadas en cualquier mes.
IV	Tratamiento adicional: pre sedimentación y pre cloración	Promedio en cualquier mes 5000/100 ml sin exceder este valor en más del 20% de las muestras analizadas en cualquier mes, y sin exceder de 2000/100 ml en más del 5% de las muestras examinadas en cualquier mes.

Fuente: Romero Rojas Jairo Alberto. (2000). *Potabilizacion del agua 3 edicion*. Bogota.

Los tratamientos biológicos son de gran eficacia estos se componen de elementos como trampas de grasas, estanques, humedales y sistemas de infiltración, los cuales logran eliminar gran parte de contaminantes, su eficacia es algo variable debido a que no elimina del todo otros agentes patógenos. Para realizar una completa desinfección se puede recurrir a métodos de desinfección como son la Cloración, el cloro se usa para eliminar los microorganismos restantes, la presentación más usada de este es la de hipoclorito de calcio y el Hervido, este método usa las altas temperaturas para eliminar organismos, el agua hervida debe almacenarse posteriormente en condiciones adecuadas y preferiblemente consumida pronto.

La tabla 4 muestra las medidas de tratamiento de aguas lluvias y su eficacia en la eliminación de contaminantes

Tabla 4: Eficacia de la medida de tratamiento

Sistema de Tratamiento	Mecanismos de eliminación de contaminantes	Eficacia de la medida de tratamiento						
		Control de la contaminación			Captación de agua lluvia			
		Sedimentos	Nutrientes	Metales Pesados	Sedimentos	Nutrientes	Metales Pesados	Agentes Patógenos
Trampas de grasa	Sedimentación	✓✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	?
	Filtración gruesa							
	Infiltración							
Estanques y Humedales	Sedimentación	✓✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓
	Filtración							
	Procesos biológicos							
	Infiltración							
	Evapotranspiración							
	Sedimentación	✓✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓	✓✓✓	?
	Filtración							
	Procesos biológicos							
	Infiltración							
	Evapotranspiración							
Sistemas de Infiltración	Sedimentación	✓✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓
	Filtración							
	Procesos biológicos							
	Infiltración							
	Evapotranspiración							

Fuente: Fletcher et al.2008

9. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO PLUVIAL

El aprovechamiento de aguas lluvias es una técnica que posee variedad de métodos y es a su vez una alternativa de bajo costo de operación y mantenimiento, se han realizado grandes avances tecnológicos y desarrollado sistemas más eficientes y más complejos; estos son excelentes en comparación de los tradicionales, pero son a su vez algunos más costosos o de difícil implementación para zonas de bajos recursos. La metodología escogida para este proyecto fue la tradicional debido a su baja complejidad, alternativa más económica y sencilla de implementar; esta se basa en el modelo de captación de cubiertas, canalones, tanque de almacenamiento y sistema de bombeo. Aplicándose mayoritariamente en zonas rurales o en regiones con alto grado de desabastecimiento de agua potable, dependiendo del consumo de agua solicitado el sistema puede ser para usos potables o no potables, su diseño depende de los parámetros a considerar como los volúmenes de almacenamiento, el potencial de ahorro de agua, lugar de aplicación, método, tecnologías, complejidad del sistema, estudio pluvial y demás factores técnicos y económicos. Se presenta a continuación el procedimiento a seguir propuesto en el libro de Abdulla y Al-Shareef.³⁰, posteriormente se expondrá un ejemplo de diseño ubicado en la región del Pacífico Norte en Colombia; esta región ha reportado a través de los años problemas de abastecimiento de agua potable y es a su vez una de las zonas más subdesarrolladas del país, pero que cuenta con un alto índice de precipitaciones a comparación del resto del país; por lo cual la hace muy práctica para el desarrollo de este proyecto.

9.1 DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA

Como se ha expuesto antes un sistema de aprovechamiento de agua lluvia tradicional para uso doméstico se compone de: 1) Cubierta, el área donde se realiza la captación (techo). 2) Canalón, Canaletas y bajantes que llevan el agua hacia el depósito de almacenamiento. 3) Filtro, tratamiento y desinfección de elementos no deseados. 4) Depósito, tanque de almacenamiento para el agua recolectada. 5) Bomba. 6) Sistema de distribución. 7) Sistema de Drenaje para aguas excedentes.

³⁰ Abdulla, F.A and Al-Shareef, A. (2006). Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan.

Aparte de reconocer los elementos más importantes es necesario determinar ciertos parámetros de diseño, como lo son el volumen de almacenamiento, el ahorro de agua potable, oferta y demanda acumuladas; junto con consideraciones del método constructivo.

Cubierta: El área de captación comúnmente el techo de la vivienda o establecimiento, debe cumplir con un tamaño adecuado que permita la recolección de una buena cantidad de agua, se recomienda una pendiente del 20% para que permita el escurrimiento del agua, los materiales de la superficie no deben desprender partículas que contaminen el agua y a su vez que impidan el desarrollo de microorganismos. En zonas rurales de manera incorrecta se implementan techos de materiales como concreto, láminas de asbesto o galvanizadas, madera, estos propician el crecimiento de organismos patógenos.

Canaletas: Estas se instalan en los bordes bajos del área de captación, se recomienda la implementación de mayas que impidan el paso de hojas, ramas y demás elementos, el ancho mínimo recomendado de las canaletas debe ser de 75mm y máximo de 150mm.

Tanque de almacenamiento: Debe cumplir con las condiciones para que el agua almacenada sea preservada y evite la proliferación de mosquitos y presencia de agentes patógenos, debe ser impermeable, ser de fácil limpieza, poseer sistema de drenaje, tapa que restrinja la entrada de polvo, insectos, luz y demás partículas, no exceder 2 metros de altura para altas presiones. Es común su construcción en materiales como Fibra de vidrio, PVC, acero galvanizado, ferro cemento, madera. Los tanques de metal sufren de oxidación rápida, por lo cual no se recomiendan o se implementan en casos que el agua no vaya a ser para uso potable, tanques de ferro cemento dependen del acabado de su superficie y el tratamiento impermeabilizante para impedir el crecimiento de moho y patógenos. El plástico y el PVC son los más recomendados por su facilidad de instalación, acabado sanitario y gran ciclo de vida

9.2 FACTORES TÉCNICOS Y ECONÓMICOS MÁS IMPORTANTES

- Oferta y Demanda de agua
- Volumen de almacenamiento
- Potencial de ahorro de agua potable y viabilidad económica.
- Precipitaciones anuales y variación de las mismas en la zona.
- Tipo de material del que va a estar constituido los elementos más importantes (superficie de captación, tanque de almacenamiento, conducción).
- Número de usuarios o personas beneficiadas (consumo diario)
- Superficie de riego de ser necesaria.

- En ciertos casos donde sea necesario realizar excavación o demás movimientos de tierra; volúmenes.

9.3 ELEMENTOS PRINCIPALES

1. Sistema de captación de aguas lluvias.

Siendo el área disponible para realizar la captación generalmente en la cubierta de la vivienda, canaletas, tejas, etc.

La dimensión de las canaletas será función de las dimensiones del techo y la precipitación; existen unas de dimensión estándar para ciertas secciones como son techo de viviendas cerca de 60m² requieren canaletas de ½ tubo de 15cm o una sección cuadrada de 18,9 cm con 1 % pendiente.

Para poder determinar el tamaño de las canaletas se puede aplicar la fórmula de Manning.

$$Q = AV = \left(\frac{1}{n}\right) AR^{\left(\frac{2}{3}\right)} * S^{\frac{1}{2}}$$

Q: Flujo de la canaleta (m³/s)

A: Área de la sección transversal (m²)

n: Coeficiente de rugosidad de la canaleta (0.01-0.015) (tabla de coeficientes)

R: Radio hidráulico en m= A/p, p: perímetro mojado en metros y S: Pendiente

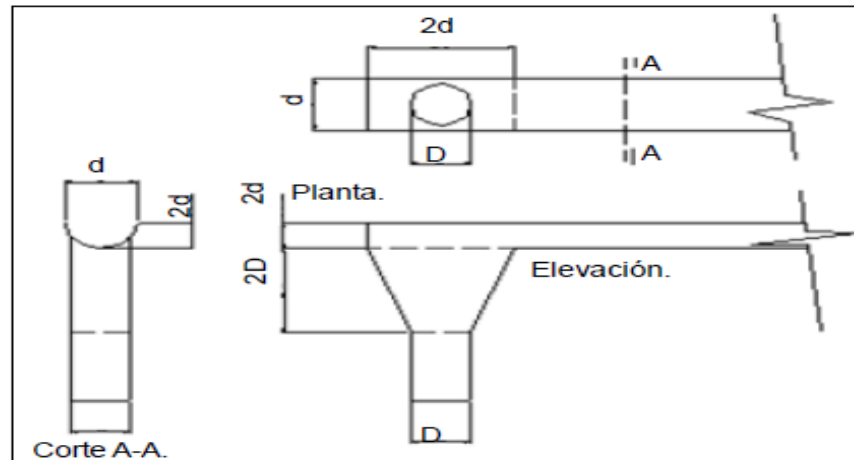
2. Interceptores y conducción de aguas.

Componente que se encargará de conducir el agua al tanque de almacenamiento, siendo muy importante la consideración del terreno y las diferencias de alturas en el sistema.

El diseño del interceptor variara dependiendo del volumen de agua para el techo; se puede estimar 1 litro por m² de techo.³¹

³¹ HERRERA MONROY Luis Alberto. (2010). Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia. Tesis. Mexico.

Figura 35: Detalle interceptor



Fuente: HERRERA MONROY Luis Alberto. (2010). Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia. Tesis. Mexico.

3. Volumen de Almacenamiento (VA)

Corresponde a la diferencia de la oferta de agua acumulada (OA) y la demanda acumulada mensual (DAM'). El mayor valor del volumen (VA) de almacenamiento será el adoptado; si el valor es negativo significa que el área disponible no satisface la demanda.³²

$$VA = OA - DAM'$$

VA: Volumen almacenamiento mes "i" (m³)

OA: Oferta acumulada al mes "i" (m³)

DAM': Demanda acumulada al mes "i" (m³)

4. Oferta Acumulada (OA)

$$OA = OA' - OAMP$$

OA: Oferta acumulada al mes "i" (m³)

OA': Oferta acumulada al mes anterior "i-1" (m³)

OAMP: Oferta del mes "i" teniendo en cuenta las perdidas (m³)

5. Oferta de Agua en el mes (OAM).

Partiendo de los promedios mensuales de precipitaciones en un rango de años evaluados se determina mediante la siguiente expresión, en función del tipo de almacenamiento que se implemente.

³² Abdulla, F.A and Al-Shareef, A. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan Desalination.

El coeficiente de escurrentía corresponde al material usado; algunos valores se pueden ver en la tabla 5.

Tabla 5: Coeficientes de Escurrimiento (Ce) de los diferentes materiales en el Área de Captación.

Tipos de Captación	Ce
Cubiertas superficiales	
Concreto	0,6 - 0,8
Pavimento	0,5 - 0,6
Geo membrana de PVC	0,85 - 0,90
Azotea	
Azulejos, teja	0,8 - 0,90
Hojas de metal acanaladas	0,7 - 0,9
Orgánicos (Hojas con barro)	< 0,2
Captación en tierra	
Suelo con pendientes menores al 10 %	0,0 - 0,3
Superficies naturales rocosas	0,2 - 0,5

Fuente: Diseño de Sistemas de Captacion del Agua lluvia, Sistema de Captacion del Agua de lluvia para uso Domestico y Consumo Humano (COLPOS 1), a nivel de familia (CIDECALLI-CP). (2007). Mexico.

Posteriormente se calcularán las pérdidas y se determina el valor real.

$$OAM = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000}$$

OAM: Oferta de agua en el mes “i” (m³)/ Abastecimiento correspondiente.

Ppi: Precipitación promedio mensual (L/m²)

Ce: Coeficiente de escurrentía

Ac: Área de captación (m²)

6. Oferta del mes “i”, teniendo en cuenta perdidas (OAMP)

Partiendo del criterio de Abdulla y Al-Shareef,³³ se puede asumir un valor del 2% anual en pérdidas debidas a procesos de evaporación, almacenamiento e ineficiencia del sistema. Este podría afectar al volumen de la oferta disponible

³³ Abdulla, F.A and Al-Shareef, A. (2006). Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan.

sobredimensionando el sistema es por eso que debe asociarse un factor de pérdidas.

$$OAMP = 0.98 * OAM$$

OAMP: Oferta de agua en el mes “i” teniendo en cuenta perdidas (m³)

OAM: Oferta de agua en el mes “i” (m³)

7. Información Pluviométrica

Registros de la zona en un rango establecido generalmente mínimo de 10 años consecutivos, considerando si se presentaron fenómenos ambientales de El niño y La niña, una vez determinados los promedios mensuales se procede a analizar los factores técnicos. Para calcular Ppi.

$$Ppi = \frac{(\sum_{i=1}^n i = n * pi)}{n}$$

Ppi: Precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (mm/mes)

N: Número de años evaluados

Pi: Valor de precipitación mensual del mes “i” (mm)

8. Coeficiente de Captación del Agua (CCA)

La eficiencia del sistema en la fase de captación depende del escurrimiento de los materiales en el área de captación, a este se le otorga un coeficiente el cual puede variar entre 0 a 0.9.³⁴

En la anterior tabla 5 se pueden observar diferentes coeficientes de escurrimiento de los materiales utilizados, los cuales se introducen en la ecuación de oferta de agua en el mes.

9. Demanda de agua en el mes

La demanda de agua se suele estimar mediante la dotación asumida por una persona o por el uso que se busca, la cual se calcula respecto a los meses necesarios.³⁵

³⁴ Se llama escorrentía o escurrimiento a la corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales, también se hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje.

³⁵ Abdulla, F.A and Al-Shareef, A. (2006). Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan.

$$DAM = \frac{(Nu * Nd * Dot)}{1000}$$

DAM: Demanda Acumulada Mensual (m³)

Dot: Dotación (L/Habxdía)

Nu: Número de Habitantes por Vivienda

Nd: Número de días del mes a tener en cuenta.

10. Demanda acumulada al mes (DAM')

$$DAM' = DAM + DAM(i - 1)$$

DAM': Demanda acumulada al mes "i" (m³)

DAM: Demanda acumulada mensual (m³)

DAM (i-1): Demanda acumulada al mes anterior (m³)

11. Almacenamiento

El uso del agua almacenada es diverso y esta puede ser utilizada durante todo el año o por lapsos de tiempo como en épocas de sequías.³⁶

Como se mencionó anteriormente algunas características que debe cumplir la unidad de almacenamiento son:

- Debe ser impermeable
- Profundidad máxima calculada de altura para minimizar sobre-presiones.
- Poseer una tapa o cierre.
- Disponer de una escotilla para permitir el ingreso de personal de limpieza.
- La entrada debe contar con malla para evitar el ingreso de objetos o animales.

9.4 EJEMPLO DE DISEÑO

El pacífico Colombiano es una región ubicada al occidente del país con una extensión cerca de 71.000 Km² y una franja de superficie marina de 400.000 Km², limita con Panamá al norte y al sur con Ecuador, al occidente con el Océano Pacífico y al oriente con la Cordillera Occidental. Las ciudades más importantes son Buenaventura, Tumaco y Quibdó. Es una región con una vasta riqueza ecológica, biodiversidad y pluviosidad del planeta; las precipitaciones son del orden de 4000 y 7000 mm/anuales según IDEAM. Debido a las condiciones climáticas, topográficas, su historia y complejidad, esta región es un poco alejada del desarrollo

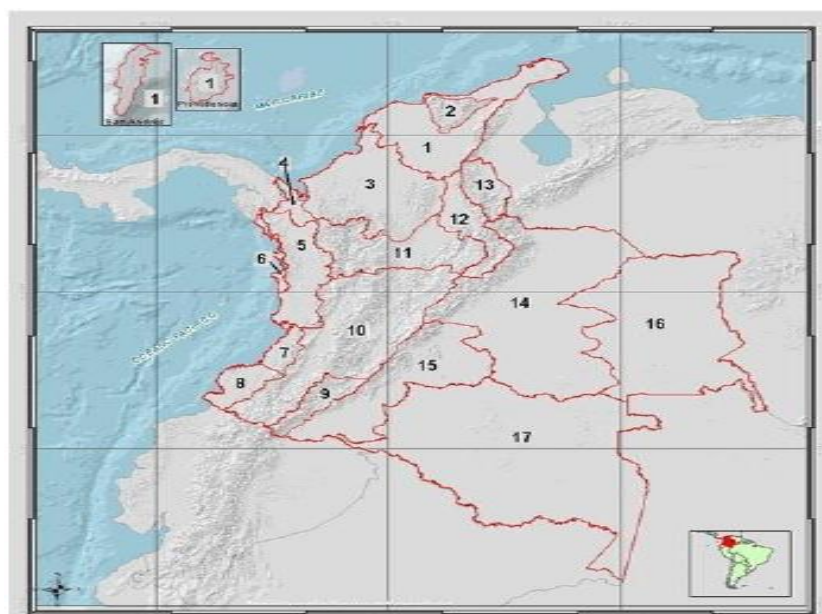
³⁶ CALA SANABRIA Javier Alberto, PEREZ GARCIA Freddy Antonio. (2012). Diseño de un sistema de captación de aguas lluvias para la utilización eficiente del recurso, en el estadio 1 de marzo de la Universidad Industrial de Santander.

del resto del país, se presentan bajos niveles de educación y subdesarrollo lo cual aumenta la pobreza y reduce la calidad de vida. A pesar de ser una región con abundantes recursos hídricos, el abastecimiento y calidad del agua presente en algunas regiones es deficiente.

Teniendo en cuenta la situación anteriormente descrita que atraviesa la región del Pacífico y evidenciando la importancia que podría tener el uso de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias para las comunidades y el medio ambiente. Con ayuda del documento suministrado por el IDEAM, Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través del análisis de componentes principales (ACP) elaborado en el 2014 por el Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático Subdirección de Meteorología – IDEAM, se presenta el diseño de un sistema implementado en la región, partiendo del estudio de la precipitación, utilizando para ello los datos registrados por la estación pluviométrica Quibdó (E11045010), se realiza el cálculo de la demanda, posteriormente se determina el abastecimiento de agua y volumen del tanque de almacenamiento. La Figura 36 expone la división que realizó el IDEAM para la toma de datos en el país, correspondiendo a la zona del Pacífico norte y centro la número 5. Los datos de precipitación tomados por una estación para la región se pueden apreciar en la Figura 37.³⁷

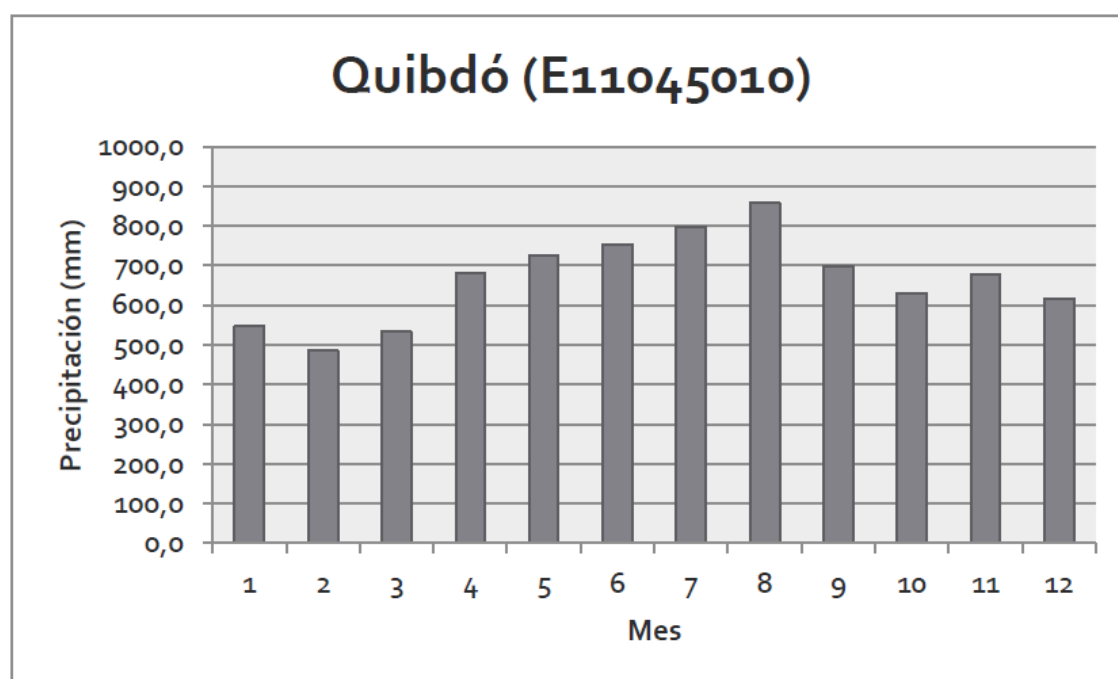
³⁷ Guzman D; Ruiz, J.F; Cadena M. Grupo de modelamiento de tiempo, clima y Escenarios de cambio Climático subdirección de Meteorología - IDEAM. (2014). Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP).

Figura 36: Regionalización según la precipitación por estacionalidad.



Fuente: Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP).

Figura 37: Régimen de precipitación para la estación Quibdó.



Fuente: Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP).

La figura 37 anteriormente mostrada, refleja la precipitación media mensual a través de los meses del año, evidenciando los altos índices y mostrando que en los meses donde alcanza el mayor pico son Junio, Julio y Agosto y la época de menores lluvias es a principios de año en los meses de Febrero y Marzo.

El estudio de las precipitaciones en la zona es fundamental para poder cuantificar el recurso hídrico, los resultados comprenden la variación de la precipitación en el transcurso del tiempo, su distribución en el área de análisis, el volumen de agua que cae y las magnitudes y frecuencias de lluvias.

Para el cálculo de la precipitación media, se tomaron en cuenta los datos anteriormente suministrados por el IDEAM, sin embargo otra manera posible es implementando el método de la media aritmética, mediante la siguiente expresión:

$$Ppi = \frac{(\sum_{i=1}^n i = n * pi)}{n}$$

Ppi: Precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (mm/mes)

N: Número de años evaluados

Pi: Valor de precipitación mensual del mes “i” (mm)

Teniendo en cuenta el procedimiento anteriormente descrito en la sección anterior por Abdulla y Al- Shareef. El cálculo de la demanda se realiza con la expresión:

$$DAM = \frac{(Nu * Nd * Dot)}{1000}$$

DAM: Demanda Acumulada Mensual (m³)

Dot: Dotación (L/Habxdía)

Nu: Número de Habitantes por Vivienda

Nd: Número de días del mes a tener en cuenta.

Para este ejemplo y teniendo en cuenta los parámetros de diseño dispuestos por la Organización mundial de la Salud, se asume una dotación por persona de 16 (lppd) este valor comprenderá las necesidades de aseo de pisos, sanitarios, riego de jardines y demás usos no potables, según el Dane en los censos realizados en el 2012-2013 el número de habitantes en una vivienda común del Pacífico Norte está entre 3 y 4, se aplicara para una vivienda de 4 personas este caso, el coeficiente de escurrimiento a usar será de 0.9 usando techo de teja suministrado por la anteriormente mostrada Tabla 5: Coeficientes de Escurrimiento (Ce) de los

diferentes materiales en el Área de Captación, con estos datos se podrá determinar la cantidad de agua necesaria para satisfacer dichas necesidades.

Para determinar el volumen del tanque de almacenamiento se calculara primero la cantidad de agua captada para un determinado techo, en este ejemplo se usara un área de 50m², posteriormente se verifica si cumple con esta dimensión y se redimensionara si es necesario.

$$OAM = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000}$$

OAM: Oferta de agua en el mes “i” (m³)/ Abastecimiento correspondiente.

Ppi: Precipitación promedio mensual (L/m²)

Ce: Coeficiente de escorrentía

Ac: Área de captación (m²)

Una vez calculado el abastecimiento y demanda mensual, se determina el acumulado correspondiente a cada mes; empezando por el mes con mayor precipitación u mayor oferta de agua, luego se continúa a determinar la diferencia de la oferta y demanda en los valores acumulados.

Las áreas de techo que representen diferencias negativas significan que el área no es capaz de captar la cantidad de agua demandada. El área mínima corresponde a valores más cercanos a 0, es recomendable usar un valor algo mayor para tener mayor seguridad en el abastecimiento. Posteriormente se calcula el Volumen del tanque con la expresión:

$$VA = OA - DAM'$$

VA: Volumen almacenamiento mes “i” (m³)

OA: Oferta acumulada al mes “i” (m³)

DAM': Demanda acumulada al mes “i” (m³)

Realizando los cálculos tenemos los resultados en la Tabla 6 a continuación.

Tabla 6: Cálculo de la demanda y el abastecimiento.

Mes de Estudio	No. Días del mes	Precipitación Mensual (mm)	Demanda Mensual (m³)	Abastecimiento del Mes (m³)	Volumen del Tanque (m³)
Ene	31	545	1,984	24,525	22,541
Feb	28	495	1,792	22,275	20,483
Mar	31	528	1,984	23,76	21,776
Apr	30	690	1,92	31,05	29,13
May	31	715	1,984	32,175	30,191
Jun	30	755	1,92	33,975	32,055
Jul	31	800	1,984	36	34,016
Aug	31	860	1,984	38,7	36,716
Sep	30	700	1,92	31,5	29,58
Oct	31	620	1,984	27,9	25,916
Nov	30	685	1,92	30,825	28,905
Dec	31	610	1,984	27,45	25,466
			$DAM = \frac{(Nu * Nd * Dot)}{1000}$	$OAM = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000}$	$VA = OA - DAM$

Fuente: Propia.

Analizando la anterior Tabla 6, los resultados del cálculo de la demanda son positivos en paralelo con la enorme cantidad de lluvias presentadas, refleja la gran cantidad de oferta disponible en agua de lluvia que permite suplir la demanda de los habitantes y aun así conserva parte en el tanque de almacenamiento.

Para poder determinar el volumen del tanque de almacenamiento requerido m³, se realiza la siguiente Tabla 7 en la cual se exponen los datos acumulados, ordenados de mayor a menor con respecto a la precipitación mensual, posteriormente se determina la diferencia del abastecimiento acumulado y la demanda acumulada.

Tabla 7: Resultados Volumen de Abastecimiento.

Mes de Estudio	Precipitación Mensual (mm)	Demanda Mensual (m³)	Demanda Acomulada (m³)	Abastecimiento del Mes (m³)	Abastecimiento Acomulado (m³)	Diferencia (m³)
Aug	860	1,984	1,984	38,7	38,7	36,716
Jul	800	1,984	3,968	36	74,7	70,732
Jun	755	1,92	5,888	33,975	108,675	102,787
May	715	1,984	7,872	32,175	140,85	132,978
Sep	700	1,92	9,792	31,5	172,35	162,558
Apr	690	1,92	11,712	31,05	203,4	191,688
Nov	685	1,92	13,632	30,825	234,225	220,593
Oct	620	1,984	15,616	27,9	262,125	246,509
Dec	610	1,984	17,6	27,45	289,575	271,975
Ene	545	1,984	19,584	24,525	314,1	294,516
Mar	528	1,984	21,568	23,76	337,86	316,292
Feb	495	1,792	23,36	22,275	360,135	336,775

Fuente: Propia

En la Tabla 7 presentada, muestra el cálculo del volumen de abastecimiento, reflejando las diferencias de oferta y demanda, donde el valor más alto es 336,775m³ de reserva; este valor es muy alto en lo que se evidencia que la oferta de agua presentada supera en gran medida la demanda, la gran cantidad de agua sobrante puede llegar a ser almacenada en más de un tanque de almacenamiento y ser dispuesta para otros usos.

Aplicando el resultado obtenido del valor de abastecimiento acumulado de 360,135m³ este correspondiendo a la oferta del año, considerando un valor de reserva de 1m³ de agua, la dotación diaria de agua por habitante sería la siguiente:

$$\left(\frac{(\text{Valor de mayor abastecimiento} - 1\text{m}^3) \times \left(\frac{1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3}}{\text{m}^3} \right)}{(365 \text{ días} \times 4 \text{ hab})} \right) = 245,98 \left(\frac{\text{Litros}}{\text{Hab}} \text{ día} \right)$$

Con este valor se realizan de nuevo los cálculos de demanda y oferta, para determinar el volumen del tanque:

Tabla 8: Calculo del volumen del tanque de almacenamiento.

Mes de Estudio	Precipitacion Mensual (mm)	Demanda Mensual (m3)	Demanda Acomulada (m3)	Abastecimiento del Mes (m3)	Abastecimiento Acomulado (m3)	Volumen del Tanque (m3)
Aug	860	30,50187671	30,50187671	38,7	38,7	8,19812329
Jul	800	30,50187671	61,00375342	36	74,7	13,6962466
Jun	755	29,51794521	90,52169863	33,975	108,675	18,1533014
May	715	30,50187671	121,0235753	32,175	140,85	19,8264247
Sep	700	29,51794521	150,5415205	31,5	172,35	21,8084795
Apr	690	29,51794521	180,0594658	31,05	203,4	23,3405342
Nov	685	29,51794521	209,577411	30,825	234,225	24,647589
Oct	620	30,50187671	240,0792877	27,9	262,125	22,0457123
Dec	610	30,50187671	270,5811644	27,45	289,575	18,9938356
Ene	545	30,50187671	301,0830411	24,525	314,1	13,0169589
Mar	528	30,50187671	331,5849178	23,76	337,86	6,27508219
Feb	495	27,55008219	359,135	22,275	360,135	1
		$DAM = \frac{(Nu * Nd * Dot)}{1000}$		$OAM = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000}$		$VA = OA - DAM$

Fuente: Propia

La Tabla 8, muestra los valores recomendados para el volumen del tanque de almacenamiento dando lugar a diversas opciones, por un lado puede escogerse un volumen optimo del tanque de 24,64 m³ = 24640 Litros, según las opciones en el mercado actual se puede considerar instalar un tanque de almacenamiento a nivel del suelo de 24,500 Litros aprovechando el total del abastecimiento de agua u optar por una propuesta más económica y de igual manera beneficiosa de un tanque de

6000 Litros en la cual también se logra suplir la demanda existente, pero no se aprovecha el total del agua existente.

De acuerdo a los datos obtenidos se evidencia que la región analizada del Pacífico Norte cumple con las características necesarias y es gran beneficiada por la construcción de estos sistemas de aprovechamiento de lluvias, además de ofrecer un gran volumen extra de agua almacenada que puede llegar a ser dispuesta para otras viviendas u otros usos, dando mayor viabilidad a los proyectos.

El ejemplo realizado únicamente tomó en cuenta el diseño de un sistema tradicional, se presentó el cálculo del tanque de almacenamiento y la demanda y oferta de agua presentadas; por el alcance de este trabajo no se analiza los demás factores como el procedimiento constructivo y la factibilidad económica, los cuales se sugiere ampliar para futuros proyectos que se realicen y tomen en cuenta este trabajo.

10. CONCLUSIONES

- Se realizó una amplia investigación para conformar el estado del arte de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, sus diferentes técnicas de recolección y reutilización a lo largo del mundo y Colombia específicamente, algunas de estas siendo muy antiguas son muy efectivas en entornos rurales como la técnica Fanya Juss en Kenia y los sistemas Rojinson en Japón dichas técnicas serían una gran alternativa en zonas de Colombia con condiciones similares, se expusieron diferentes edificaciones que cuentan con estos sistemas y algunas que poseen certificación LEED, a partir de estas propuestas se escogió la alternativa más económica y de fácil implementación para desarrollar un ejemplo de diseño posible en la región del Pacífico Colombiano.
- El aprovechamiento de aguas lluvias ha sido una técnica implementada desde los orígenes de la humanidad, dicha práctica era muy común en las ciudades antiguas y concedía de una fuente de agua a las poblaciones que carecían de un óptimo sistema de acueducto o condiciones de terreno muy áridas, estos sistemas decrecieron a medida que el ser humano mejoró la extracción de agua de fuentes superficiales y subterráneas; en la actualidad los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias son en gran medida más necesarios debido al incremento exponencial de la necesidad de agua potable, puede que no logren cubrir toda la demanda existente, pero sí un gran porcentaje de esta.
- Según las diversas experiencias analizadas, se logró evidenciar un factor determinante en la construcción de los sistemas de aprovechamiento, este factor corresponde a los materiales de construcción que se emplean; es muy importante que estos beneficien la salubridad del sistema, pero también que sea de fácil adquisición en la región y un coste mínimo o no muy elevado, de lo contrario la construcción del sistema de aprovechamiento no sería una propuesta rentable económicamente.
- Como desventaja de la utilización de sistemas de aprovechamiento de lluvias es que estos dependen de temporadas de lluvia y de la intensidad de estas, en temporadas de sequía no serían muy útiles, sin embargo siguen siendo una gran alternativa para las otras temporadas del año y se puede suplir el déficit producto de la sequía con mejor capacidad de almacenamiento y preservación del agua recolectada.
- En la construcción de estos sistemas se deben tener en cuenta múltiples factores como son las condiciones hidrológicas de la región en referencia a los cambios climáticos identificados en los últimos años, el fenómeno de la Niña y el Niño, se debe realizar un estudio extra de cómo estos fenómenos alteran las precipitaciones en la zona de estudio y determinar un volumen real de captación

para los cálculos de la edificación. Otros factores a estudiar son la localización del proyecto, el uso que se le va a dar al agua, el costo del proyecto, etc.

➤ Como se logró evidenciar el agua lluvia posee menos agentes contaminantes que algunas fuentes superficiales, pero de igual manera requiere un tratamiento específico adecuado a las condiciones presentadas, es importante al momento de diseñar el sistema de aprovechamiento realizar las correspondientes pruebas de laboratorio y con dichos resultados plantear el tratamiento de desinfección que se va a efectuar, son mínimos los riesgos sanitarios que se pueden presentar por la manipulación de aguas lluvias, sin embargo es necesario una correcta manipulación y medidas de protección para la salud de las personas en contacto con el sistema, el agua almacena proveniente de la captación debe resguardarse en buenas condiciones si se quiere alargar su periodo de uso. Importante tener en cuenta en las zonas rurales que al terminar la temporada de lluvias es necesario una racionalización correcta, medidas de higiene y limpieza del sistema, con el fin de extender el abastecimiento.

➤ Al usar estos sistemas en poblaciones urbanas de grandes ciudades, aparte de proveer un menor consumo del agua suministrada y el ahorro anteriormente dicho se logra mejorar el ciclo hidrológico en la región, reducción de los volúmenes de escorrentías y caudales, por consecuente se reduce el costo de infraestructuras de drenaje urbano y ayuda en situaciones de incapacidad hidráulica en las redes de colectores, lo cual puede evitar futuras inundaciones y daños en las propiedades, también un gran beneficio es que se evita la contaminación y el desperdicio de grandes cantidades de agua debido al arrastre de materiales producto de la actividad del ser humano, dichas cantidades son reaprovechadas de manera correcta en los hogares, la implementación de estos sistemas evidentemente produce una reducción de costos en de las tarifas de agua y de luz, al disminuir la cantidad de agua suministrada por la red de acueducto.

➤ Es importante reconocer que varios de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias son algo costosos y no muy disponibles para comunidades de bajos recursos; estos siguen implementando las técnicas tradicionales que siendo buenas se podría modificar u optimizar su procedimiento para obtener una mejor eficacia.

➤ El ejemplo realizado en la región del Pacífico demostró que el alto nivel de lluvias en la zona y el cálculo realizado hace que sea favorable la implementación de sistemas de aprovechamiento de lluvias en las viviendas de la región, se conoce que la región cuenta con los materiales y la mano de obra disponibles para la construcción de estos y reducir los costes de elaboración del sistema, también por tal motivo fue escogido este método para el ejemplo, el sistema cumple con lo propuesto considerando que este va a ser usado para usos no potables sin embargo es importante tener en cuenta un proceso de desinfección para dar un servicio más

completo, dicha desinfección puede incrementar el costo del sistema, pero a su vez brindar más servicio a las comunidades.

- La construcción del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias planteado en el ejemplo, debe considerar materiales que no puedan generar posibles agentes contaminantes en un futuro, materiales metálicos se corroen y generan óxido o sedimentos con el tiempo, madera y cemento propician el desarrollo de materia orgánica, materiales plásticos (PVC) son la mejor opción debido a sus propiedades y ser de fácil limpieza.
- En la legislación nacional investigada, se puede evidenciar que falta normatividad para el aprovechamiento de aguas lluvias en las zonas urbanas, algunas normas se encuentran desactualizadas frente a las condiciones climáticas que atraviesa el país, un claro ejemplo de este problema son las tarifas respecto al consumo del agua suministrada por el acueducto y el diferencial extra con el vertimiento de las aguas lluvias en el sistema de alcantarillado, no se determina un consumo real, claramente el vertimiento es mayor del agua suministrada por el acueducto y esto no se refleja en algún costo.
- Para motivar la implementación de los sistemas, el Estado Colombiano podría implementar políticas de estímulo con exenciones tributarias para los proyectos que reduzcan de manera considerable el consumo de agua potable, esta nueva política se complementaría con la existente que castiga el desperdicio de agua en algunas ciudades.

11. RECOMENDACIONES

- Queda abierta la monografía para futuros trabajos, se recomienda realizar un diseño completo de un sistema de aprovechamiento pluvial de tecnologías usadas en otros países y ver su factibilidad económica en regiones urbanas.
- Se sugiere ahondar más en la normatividad que implementan otros países respecto al aprovechamiento de las aguas lluvias y proponer normas que complementen la actual en nuestro país.
- Se recomienda no valorar exclusivamente la factibilidad de un proyecto de aprovechamiento pluvial desde un punto de vista económico y si tener en cuenta más importantes los criterios de ahorro de recursos y desarrollo sostenible, los beneficios aportados por el aprovechamiento de aguas lluvias son mucho más que económicos y para los problemas ambientales que atraviesa el planeta es una gran alternativa a tener en cuenta.
- El ejemplo realizado únicamente tomo en cuenta el diseño de un sistema tradicional, se presentó el cálculo del tanque de almacenamiento y la demanda y oferta de agua presentadas; por el alcance de este trabajo no se analiza los demás factores como el procedimiento constructivo y la factibilidad económica, los cuales se sugiere ampliar para futuros proyectos que se realicen y tomen en cuenta este trabajo.
- Evidenciando los grandes cambios climáticos por los que atraviesa el planeta, es importante investigar e implementar tecnologías alternativas que sean de bajo costo y fácil accesibilidad, motivar una conciencia y compromiso ecológico entorno al ahorro de agua en el mundo, este es un recurso fundamental para la vida del ser humano y muchas otras especies.

Bibliografía

(CCCS, CONSEJO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE. (2015). Estudios de caso centro de distribucion Ecobranch AVON. Obtenido de <https://www.cccs.org.co/estudios-de-caso/proyectos/342-centro-de-distribucion-ecobranch-avon>

Abdulla, F.A and Al-Shareef, A. (2006). Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan.

Abdulla, F.A and Al-Shareef, A. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan Desalination.

APROYAVE. (2015). Evaluacion economica de la captacion de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hidrico en la institucion Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552011000100007&lang=pt

Arango; C.; Dorado, J; Guzmán D.; Ruiz, J. F. Subdireccion de Metereologia IDEAM. (2012). Cambio Climatico mas probable para colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente.

BALLEN SUAREZ Jose Alejandro, GALARZA GARCIA Miguel Angel, ORTIZ MOSQUERA Rafael Orlando. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

BARETO Carlos, BENJARANO Mayra Alejandra ,ACUÑA Julieth Andre. (2011). Elaboracion de un prototipo de optimo funcionamiento para potabilizar aguas superficiales en caso de emergencia a partir de la evaluacion de la eficiencia de filtros existentes. Obtenido de <http://es.slideshare.net/gabrielherrera13/exposicin-cruz-roja-colombiana>.

BAY BAYONA Y ASOCIADOS. (2016). La nueva sede de la farmaceutica novartis es la primera edificacion en recibir la certificacion internacional LEED. Obtenido de <http://www.bay.com.co/2010/08/la-nueva-sede-de-la-farmaceutica-novartis-es-la-primera-edificacion-colombiana-en-recibir-certificacion-internacional-leed/>

CALA SANABRIA Javier Alberto, PEREZ GARCIA Freddy Antonio. (2012). Diseño de un sistema de captacion de aguas lluvias para la utilizacion eficiente del recurso, en el estadio 1 de marzo de la Universidad Industrial de Santander.

CALLE MAESTRE Yair , ARCHILA MENDOZA Omar , VARGAS RUIZ Jhon. (2014). Analisis de la tecnologia apropiada para la disposicion de aguas lluvias. Caso de estudio Parque Industrial Santo Domingo del Municipio de Mosquera - Cundinamarca. Trabajo de grado para obtener el titulo de especialista en Recursos Hidricos. . Bogota D.C. Universidad Catolica de Colombia. Facultad de Ingenieria.

CASTRO Rosario, PEREZ Ruben. (2009). Saneamiento rural y salud. Guatemala: Organizacion panamericana de la salud.

COLEGIO ROCHESTER. (2015). Leed Primer Colegio Leed Gold en Latinoamerica. Obtenido de <http://www.rochester.edu.co/index.php/campus/leed>

CONANT Jeff. (2012). Agua para vivir.

CONSTRUDATA. (s.f.). Edificio Novartis en Bogota obtiene certificacion LEED . Obtenido de http://www.construdata.com/BancoConocimiento/E/edificioNovartis_leed2010/edificioNovartis_leed2010.a

Diseño de Sistemas de Captacion del Agua Lluvia, Sistema de Captacion del Agua de Lluvia para uso Domestico y Consumo Humano (COLPOS 1), a nivel de familia (CIDECALLI-CP). (2007). Mexico.

ESCOBAR Nathalie Arango, FLOREZ CARDONA Juliana. (2012). 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. Trabajo de grado.

ESTUPIÑAN PERDOMO Jorge Luis, ZAPATA GARCIA Héctor Ovidio. (2010). Tesis. Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Bogota.

Fletcher, T., Mitchell, V., Deletic, A., Ladson, T., & Séven, A. (2015). Is stormwater harvesting beneficial to urban waterway environmental flows? Water science and

technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research, pag 55,265.

GARCIA VELAZQUEZ Jesús Hiram. (2012). Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un eco barrio de la Ciudad de México. Trabajo de Grado.

GREENFACTS, WIRTGEN Jacques. (2009). Recursos Hidricos "Resumen del 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hidricos en el mundo". Bruselas, Belgica.

GRUPO BANCOLOMBIA. Eficiencia energetica y construccion sostenible edificio direccion general. (2016). Obtenido de http://www.upme.gov.co/Eventos/URE_2011/Franco_Piza_Edificio_Bancolombia.pdf

GUZMAN D; RUIZ, J.F; Cadena M. Grupo de modelamiento de tiempo, clima y Escenarios de cambio Climatico subdireccion de Metereologia - IDEAM. (2014). Regionalizacion de Colombia segun la estacionalidad de la precipitacion media mensual, a traves analisis de componentes principales (ACP).

H.M.S.A. (2016). H.M.S.A Ingenieria de riego. Obtenido de http://www.hmsa.com.ar/servicios_cosecha_de_lluvia.html

HERRERA MONROY Luis Alberto. (2010). Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia. Tesis Mestria Ingenieria Civil. Mexico.

Hidropluviales soluciones - Captacion en el mundo. (2016). Obtenido de <http://hidropluviales.com/captacion-en-el-mundo/>

<http://elblogverde.com/que-es-la-lluvia-acida/>. (11 de Abril de 2016).

<http://www.h2opoint.com/lluvia.php>. (2015). Obtenido de h2opoint.

https://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_h%C3%ADrica. (11 de Abril de 2016).

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). . (2010). Estudio Nacional del Agua –ENA-. Bogota D.C.

IPOGEA - Traditional Knowledge Research Centre . (s.f.).

J Ghould, E Nissen-Petersen. (1999). Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply:.

latinamericanstudies. (2016). Obtenido de <http://www.latinamericanstudies.org/uxmal/uxmal-02-24.jpg>

MIRNA DE LIMA Medeiros. (2015). Adopcion de la certificacion LEED en medios de Hospedaje enverdeciendo la Hoteleria . Obtenido de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75902012000200005&lang=es

Oficina regional de la FAO para América latina y el Caribe. (2013). CAPTACION Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Cartilla. Santiago de Chile.

PETERSEN Nissen, GOULD. (1999). Clasificación general de los sistemas de captación de lluvia.

ROMERO ROJAS Jairo Alberto. (2000). Potabilizacion del agua 3 edicion. Bogota.

SUAREZ ORTEGA Leidy Patricia, RODRIGUEZ HERRERA Jhon Jairo. (2014). Recolecion y reutilizacion de aguas lluvias en viviendas de interes social y bajos recursos en el Barrio Yomasa en la ciudad de Bogota. Trabajo de grado ingenieria civil. Universidad Catolica de Colombia. Bogota D.C.

tectonicablog. (2016). Obtenido de <http://tectonicablog.com/?p=57303>

TERRANUM. Novartis Colombia Certificacion Leed . (2016). Obtenido de <http://www.terrannum.com/noticia/noticia/154-nueve-edificios-corporativos-tienen-la-certificacion-leed>