

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
Dependencia		Aprobado	Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO	0(71)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Edgar Augusto Pérez Arévalo Maira Alejandra Avendaño Arenas		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Dibrey Paola Quintero Criado		
TÍTULO DE LA TESIS	Influencia de los sistemas de tratamiento de agua lluvia para el aprovechamiento del recurso hídrico		
TITULO EN INGLES	Influence of rainwater treatment systems for the use of water resources		
RESUMEN			
<p>Los mayores retos de la humanidad se concentran en buscar alternativas de abastecimiento de agua, ya que la contaminación y los cambios medio ambientales han ocasionado una notable reducción de los recursos hídricos, por lo que ha aumentado la importancia de aprovechar las aguas lluvias. En este trabajo se presentan los aspectos más importantes sobre el aprovechamiento del agua lluvia, además de un ejemplo de elaboración de filtros caseros.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>The greatest challenges for humanity are focused on seeking alternatives for water supply, since pollution and environmental changes have caused a notable reduction in water resources, which has increased the importance of taking advantage of rainwater. In this work, the most important aspects about the use of rainwater are presented, as well as an example of making homemade filters.</p>			
PALABRAS CLAVES	Aguas lluvias, Filtros, Sistemas de tratamiento, Recursos hídricos		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Rainwater, Filters, Treatment systems, Water resources, Hydrological cycle		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 73	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 0	CD-ROM: 1



Influencia de los sistemas de tratamiento de agua lluvia para el aprovechamiento del recurso hídrico

Edgar Augusto Pérez Arévalo
Maira Alejandra Avendaño Arenas

Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Ing. Dibrey Paola Quintero Criado

24 Agosto del 2022

Agradecimientos

Los autores de este trabajo manifiestan su cordial agradecimiento a la Ing. Dibrey Quintero, por la dirección de este trabajo, su apoyo y colaboración continúa durante todo el transcurso de la investigación.

Así mismo dan su agradecimiento a aquellas personas que de una u otra manera aportaron en este trabajo: compañeros, amigos y docentes, así como aquellos profesionales que brindaron su ayuda y colaboración.

Finalmente agradecen a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por brindar los conocimientos y las herramientas necesarias para culminar este trabajo.

Edgar Augusto Pérez Arévalo

Maira Alejandra Avendaño Arenas

Tabla de contenido

Introducción.....	8
Capítulo 1. Generalidades	9
1.1 Título de la monografía	9
1.2 Planteamiento del problema	9
1.3 Objetivo	10
1.4 Justificación.....	10
1.5 Metodología.....	11
Capítulo 2. Análisis de los factores que han tenido repercusiones en el suministro del agua potable.....	13
2.1 Afectaciones ambientales que han llevado a la disminución de los caudales de las fuentes hídricas	16
2.2 Utilización del agua en el desarrollo de las actividades humanas.....	19
2.3 Crecimiento poblacional.....	22
Capítulo 3. Generalidades de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de ahorro y manejo eficiente de los recursos hídricos	24
3.1 Ciclo hidrológico	25
3.2 Elementos que conforman el sistema de aprovechamiento de agua lluvia	27
3.2.1 Área de captación.	27
3.2.2 Tanque de almacenamiento o embalse.	28
3.2.3 Canales, bajantes y colectores.	28
3.2.4 Obras complementarias.	29

3.3 Características y parámetros de calidad del agua lluvia.....	31
Capítulo 4. Marco legal sobre la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua de origen pluvial	34
4.1 Normatividad internacional que ampara la aplicabilidad de los sistemas de recolección de agua pluvial.....	35
4.2 Normatividad colombiana que avala el uso del agua lluvia	36
Capítulo 5. Análisis comparativo de los diferentes tipos de tratamiento de las aguas pluviales	39
5.1 Técnicas utilizadas para el tratamiento de agua lluvia	39
5.1.1 Tratamientos físicos.....	40
5.1.2 Tratamientos químicos.	43
5.1.3 Tratamientos biológicos.	44
5.2 Filtros.....	46
5.3 Implementación de un sistema de recolección de aguas lluvias.....	51
5.3.1 Área de contribución o de captación.	52
5.3.2 Información pluviométrica de la zona.....	52
5.3.3 Estimación del caudal en los canales.....	54
5.3.4 Recolección y conducción.....	56
5.4 Ventajas y desventajas de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.....	57
5.5 Caso práctico: filtración de aguas lluvias captadas en techos de diferentes materiales	58
Conclusiones.....	64

Referencias 66

Lista de tablas

Tabla 1 Agua lluvia que puede ser captada en la ciudad de Ocaña con un área de captación de 70 m ² considerando el promedio de precipitación mensual dado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)	54
Tabla 2 Coeficientes de escurrimiento más comunes.....	56
Tabla 3 Valores obtenidos en la prueba microbiológica del agua lluvia de cada tipo de tejado.....	60
Tabla 4 Valores obtenidos en la prueba fisico-química del agua lluvia filtrada de cada tipo de tejado	62

Lista de figuras

Figura 1 Cisternas empleadas para almacenamiento de agua lluvia en la Antigua Grecia .	14
Figura 2 Gráfico de la disminución del área de masa glaciar de Colombia en los últimos 50 años	18
Figura 3 Uso de agroquímicos en cultivos agrícolas.....	19
Figura 4 Vertimiento de aguas residuales e industriales directamente en fuentes hídricas.	21
Figura 5 Exposición gráfica del ciclo hidrológico	26
Figura 6 Sistema de recolección de agua lluvia	30
Figura 7 Filtro de arena de gravedad conformado por diversos estratos	42
Figura 8 Diagrama de un sistema de filtración en múltiples etapas - FIME	43
Figura 9 Estanque de detención o retención.....	45
Figura 10 Ejemplo de filtro de aguas lluvias.....	47
Figura 11 Filtro comercial de retro-lavado.....	48
Figura 12 Filtro a base de guadua y materiales de fácil acceso.....	49
Figura 13 Diseo del filtro de aguas lluvias a base de guadua.....	50
Figura 14 Filtro casero compuesto por arena, grava y carbón	59
Figura 15 Agua lluvia filtrada y sin filtrar.....	60

Introducción

Actualmente el aprovechamiento del agua lluvia es una práctica de gran interés, tanto por las ventajas que representa para el medio ambiente como por los beneficios económicos que representa. El aumento de la población y las distintas actividades humanas han generado una sobredemanda de los recursos hídricos superficiales: ríos, quebradas, embalses, entre otros, a lo que se debe sumar las afectaciones sobre la calidad del agua a causa de la contaminación. Todo esto ha llevado a que se consideren los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias como alternativas viables para el abastecimiento (Castañeda, 2010).

La implementación de nuevas tecnologías o del mejoramiento de los sistemas ya existentes, como los filtros, permiten que el aprovechamiento del agua lluvia sea mucho más factible y esté al alcance de las comunidades, especialmente donde se carece de un suministro adecuado de agua, pero tan bien se busca generar conciencia en un sentido general, aun en los lugares donde no se presentan problemas con el acceso al agua (Ballén, Galarza, & Órtiz, 2006).

Este trabajo de compilación, se centra en abordar los aspectos generales que deben ser tenidos en cuenta para considerar el aprovechamiento de los sistemas de tratamiento de aguas lluvias, esto con el fin de demostrar que las alternativas para el aprovechamiento del agua lluvia concuerdan con los lineamientos del desarrollo sostenible, ya que contribuyen al uso racional de este recurso.

Capítulo 1. Generalidades

1.1 Título de la monografía

El presente trabajo consiste en una monografía de compilación titulada: *Influencia de los sistemas de tratamiento de agua lluvia para el aprovechamiento del recurso hídrico.*

1.2 Planteamiento del problema

El adecuado manejo de las fuentes hídricas es una de las iniciativas que mayor divulgación mundial tiene en la actualidad, debido a la disminución del caudal de los ríos, y a las consecuencias que esto ha generado en las distintas poblaciones (Guerra, 2019).

Los problemas atribuidos a los efectos del cambio climático, la contaminación y al uso irracional del agua, se han manifestado esencialmente en una reducción del agua disponible. Aunque se están aplicando medidas, como el racionamiento en el suministro del agua, campañas de concientización ambiental y un sin número de estrategias que permitan mitigar las afectaciones presentadas, la realidad es que estas no han tenido el impacto esperado, por el contrario, el problema continua acrecentándose (Suárez & Salinas, 2018).

Lo anterior, ha incrementado la importancia del aprovechamiento de las aguas lluvias (precipitaciones), ya que son una alternativa ante la constante variabilidad de las fuentes hídricas superficiales (ríos, quebradas, lagos, entre otros). Debido a esto, se hizo necesario estudiar los sistemas de tratamiento y recolección del agua lluvia o pluvial, especialmente aquella destinada a reducir la demanda de la dotación neta de los usuarios del sistema de redes de acueducto, con el fin de analizar medidas que se catalogan como sostenibles, que benefician el medio ambiente y reducen la explotación de los recursos hídricos disponibles.

1.3 Objetivo

Desarrollar una monografía de compilación, donde se recopila la información existente y más relevante referente a la influencia que los sistemas de tratamiento de agua lluvia ha tenido en el aprovechamiento del recurso hídrico considerando aspectos ambientales y sociales.

1.4 Justificación

En las últimas décadas, se han venido presentando diversos fenómenos, tales como el cambio climático y la deforestación, consecuencia de los elevados índices de contaminación y el accionar indiscriminado de los seres humanos para con la naturaleza, esto ha venido afectando al medio ambiente y a la capa de ozono, de modo que, ha contribuido a elevar la temperatura sobre la tierra y a reducir el caudal de los afluentes (Borja, 2019).

Estas variables han llevado a la implementación de iniciativas para el adecuado manejo del agua, con el fin de promover el ahorro y el uso eficiente del mismo. De esta manera, se presenta la necesidad de estudiar y analizar métodos alternativos que permitan la reutilización y optimización en el manejo de este fluido (Noreña, 2009).

El aprovechamiento del agua lluvia es una de las medidas más amigables con el medio ambiente, en lo que respecta al uso eficiente del agua, sin embargo, existen regiones donde el suministro y tratamiento del fluido está representando un problema considerable, debido a que conlleva a costos de inversión de carácter socioeconómicos considerables. Por consiguiente, el agua obtenida de las precipitaciones es aprovechada para cubrir el uso de las bacterias sanitarias y actividades de riego, no obstante, existen sistemas de tratamiento novedosos que permiten garantizar una adecuada calidad del agua para consumo humano (Humma.com.ar, 2019).

1.5 Metodología

En este trabajo se presentó una propuesta metodológica enfocada en sintetizar y analizar la información concerniente a los sistemas de tratamiento del agua lluvia y la influencia que han tenido en el aprovechamiento del recurso hídrico, destacando las distintas aplicaciones que se han realizados en cuanto al uso de filtros. El trabajo se desarrolló en las siguientes etapas:

Etapa 1. Revisión Bibliográfica.

Etapa 2. Selección de bibliografía relevante de calidad: artículos, papers en Journals, trabajos de grado y páginas web.

Etapa 3. Recopilación de información relevante.

Etapa 4. Desarrollo de capítulos.

La etapa 4 consistió en el desarrollo de los siguientes capítulos:

Capítulo 1. Generalidades.

Capítulo 2. Análisis de los factores que han tenido repercusiones en el suministro del agua potable.

Capítulo 3. Generalidades de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de ahorro y manejo eficiente de los recursos hídricos.

Capítulo 4. Marco legal sobre la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua de origen pluvial.

Capítulo 5. Análisis comparativo de los diferentes tipos de tratamiento de las aguas pluviales.

Capítulo 2. Análisis de los factores que han tenido repercusiones en el suministro del agua potable

El desarrollo de las civilizaciones humanas ha estado directamente vinculado al agua disponible. Las primeras culturas desarrollaban sus actividades en las zonas donde podían abastecerse fácilmente de agua, pues se facilitaban las actividades agrícolas y de ganadería. Posteriormente, con el aumento de la población y el crecimiento de las ciudades, se acrecentó la necesidad de un abastecimiento constante de agua, el cual era suplido gracias a la alta disponibilidad del agua superficial (ríos, quebradas, lagos,...). Esta tendencia conllevó a que la mayor parte de los asentamientos humanos se desarrollaran entorno a las fuentes hídricas superficiales (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006; Castañeda, 2010).

A pesar de lo anterior, muchas ciudades y culturas se originaron, y paulatinamente fueron creciendo, en zonas donde no existía una disponibilidad constante de agua superficial; así mismo, en muchas regiones se presentaban severos períodos de sequía en épocas de verano. Esta situación conllevó al desarrollo de prácticas de manejo del agua lluvia. Ahora bien, estas prácticas dependían del conocimiento local del medio natural, la periodicidad de las precipitaciones, y los volúmenes en que éstas se presentaban (Pacheco, 2008; Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006).

La técnica más común de recolección y almacenamiento de agua lluvia en la antigüedad, era mediante cisternas, como la ilustrada en la figura 1. Con estas cisternas se almacenaba el

agua en el interior de los palacios, y habitaciones, la cual era empleada con fines domésticos (IICA, 1998).

Figura 1

Cisternas empleadas para almacenamiento de agua lluvia en la Antigua Grecia



Nota. Panorámica de este tipo de obras. Reproducido de: “Agua y civilizaciones antiguas”, Iagua.es, 2015 (<https://www.iagua.es/blogs/lluis-sala/agua-y-civilizaciones-antiguas>). Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

Si bien las características de las cisternas variaban entre culturas, todas buscaban almacenar el agua el mayor tiempo posible, por lo que fue común el empleo de materiales que ayudaran a impermeabilizar sus paredes. Durante siglos fueron comunes los problemas asociados a la disponibilidad del agua, ya sea por falta de medios para su distribución, debido a la carencia de sistemas de acueducto, o por factores asociados a su escases (sequías) (Torres, 2019).

Durante muchos siglos, se priorizó la distribución del agua en la población, pues las fuentes hídricas superficiales garantizaban el suministro de agua a todos los habitantes de una ciudad o pueblo, por lo que en la práctica, los problemas de acceso al agua estuvieron en su mayoría relacionados a la falta de acueductos o plantas de tratamiento. De esta forma, con el crecimiento acelerado de las ciudades, y los avances tecnológicos y constructivos, en muchas ciudades se desarrollaron sistemas de distribución del agua a nivel domiciliario que permitían un acceso continuo a este servicio, y que fueron restando importancia al uso del agua lluvia (Torres, 2019; Giraldo, 2016).

Sin embargo, en las últimas décadas se han generalizado los problemas de acceso al agua, pero esta vez relacionados directamente con su disponibilidad, pues gran parte de las fuentes hídricas superficiales se han visto afectadas por el cambio climático y distintas actividades humanas. Según estimaciones de la Organización de Naciones Unidas (ONU), a nivel mundial una de cada cinco personas no tiene acceso al agua potable, por tal motivo, a continuación se abordaran los factores que mayormente han generado afectaciones en las fuentes hídricas (Pacheco, 2008).

2.1 Afectaciones ambientales que han llevado a la disminución de los caudales de las fuentes hídricas

El cambio climático, o variación del clima, ha sido la principal afectación que ha conllevado a la disminución de los caudales de las fuentes hídricas. Las altas concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, han provocado el aumento de la temperatura promedio del planeta, esto ha intensificado la ocurrencia de tormentas, inundaciones, sequías, además del aceleramiento de los procesos de erosión del suelo, la extinción de plantas y animales, y sobre todo, una constante variabilidad de las fuentes hídricas superficiales (Red Alfa TECSPAR, 2020).

En países como Colombia, los efectos del cambio climático tienden a ser visibles por la continua ocurrencia de fenómenos que alteran los patrones anuales de precipitación. Dentro de estos fenómenos destaca el denominado ENOS (El Niño – Oscilación del Sur). Durante décadas este fenómeno representaba la ocurrencia de una temporada seca (verano) o de fuertes lluvias (invierno), que se intercalaban durante cierto período de tiempo, generalmente cada 7 años, y que generaban fuertes impactos por su severidad. No obstante, en las últimas dos décadas, estos fenómenos se han vuelto más recurrentes e intensos (Suárez & Salinas, 2018).

Cuando se presentan temporadas de fuertes lluvias, los caudales de ríos y quebradas provocan desbordamientos y avalanchas, y en estas condiciones, debido a la turbiedad y a los sedimentos que transporta el agua, esta no puede ser potabilizada. Mientras que en temporadas

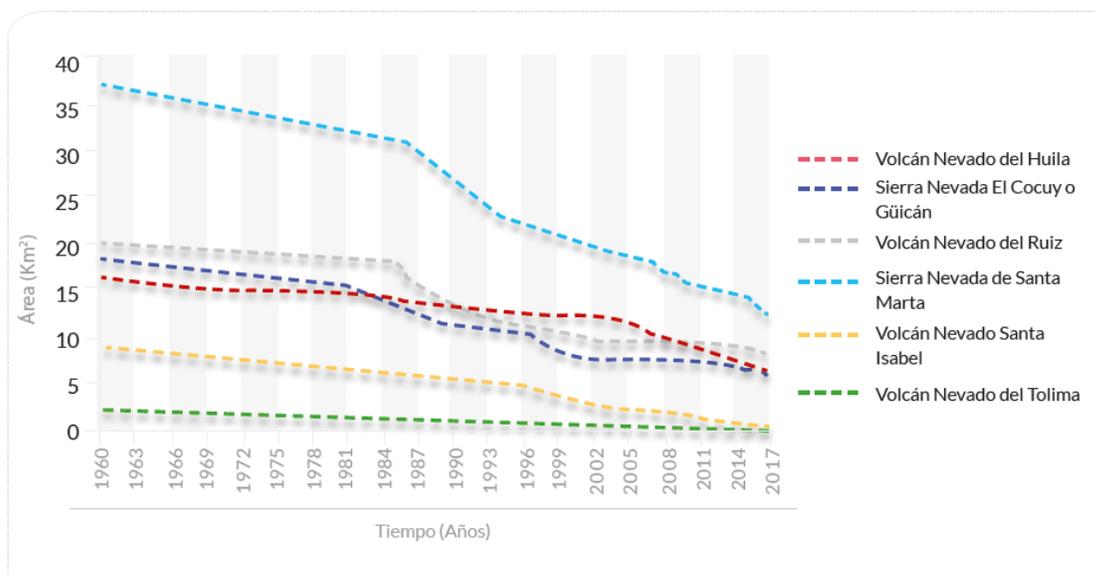
de verano (sequías) ocurre una reducción drástica de los caudales, por lo que en muchas ocasiones no logran satisfacer la constante demanda por parte de actividades agrícolas, industriales y de consumo humano (Montealegre, 2012).

Los caudales de las principales fuentes hídricas de Colombia se han visto reducidas hasta un 15% en los últimos 40 años, según datos reportados por German Poveda Jaramillo, investigador de la Universidad Nacional de Colombia. Esta reducción se asocia principalmente al derretimiento de los glaciares (Poveda, 2015).

El derretimiento de los glaciares es un efecto directo del cambio climático asociado a las actividades industriales efectuadas en todo el mundo, y que en Colombia, según el informe del Estudio Nacional del Agua presentado por el IDEAM, hasta el año 2018 ha causado la extinción de más de 47 km² de masa glaciar, lo cual representa más del 56% de la masa reportada por esta misma institución en el año 1980, la cual era entonces de 87 km². La situación es tan acelerada, que en 50 años el país ha perdido más del 50% del área de sus glaciares, como se observa en el gráfico de la figura 2 (IDEAM..., 2018).

Figura 2

Gráfico de la disminución del área de masa glaciara de Colombia en los últimos 50 años



Nota. Se observa en la figura la notable reducción de las áreas glaciares en Colombia.

Reproducido de “Estudio Nacional del Agua”, IDEAM, 2018. Obra de dominio público.

Al igual que Colombia, la mayor parte de países sudamericanos que son atravesados por la cordillera de los Andes, han perdido más del 50% de su masa glaciara, y la tendencia de derretimiento continua en aumento, una situación problemática, dado que en estos países los glaciares son la principal fuente de agua potable para millones de habitantes de la región, debido a que en ellos se encuentran los nacimientos de los principales ríos que surcan el continente (BBC, 2019).

2.2 Utilización del agua en el desarrollo de las actividades humanas

El ser humano desarrolla una gran cantidad de actividades con el fin de satisfacer sus distintas necesidades. El problema estriba, en que para el desarrollo de muchas de estas actividades, se precisa de recursos naturales, principalmente agua, con lo cual se ocasiona un impacto directo sobre el medio ambiente, y en especial, sobre las fuentes hídricas. La actividad que mayor consumo de agua requiere es la agricultura. Se estima que cerca del 70% de los recursos hídricos de todo el mundo son usados por la agricultura, además de ser el principal factor de degradación, debido a la erosión que produce y la alta cantidad de agroquímicos que son empleados, principalmente pesticidas y herbicidas. En la figura 3 se observa la fumigación de un campo de cultivo (Mejía, 2005; Dávila, 2021).

Figura 3

Uso de agroquímicos en cultivos agrícolas



Nota. Uso de productos agrícolas. Reproducido de: “Agrotóxicos, cáncer y malformaciones”, Joaquín de Weert, Infobae.com, 2017 (<https://www.infobae.com/sociedad/2017/01/01/piden-prohibir-el-uso-de-agrotoxicos-por-ser-posible-causante-de-cancer-y-malformaciones/>). Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

Relacionado a la agricultura se encuentra el desarrollo pecuario (cría de animales), ya que la mayor parte de residuos sólidos generados por esta actividad (excrementos y orina) son directamente depositados sobre las fuentes hídricas, sin ningún tipo de tratamiento previo, así como los alimentos que son empleados para alimentar a los animales (Dávila, 2021; Mejía, 2005).

A lo anterior se suma que la agricultura es el principal motor de la deforestación en países tropicales, aunque también se debe resaltar el efecto directo de las actividades madereras. Esta situación, además de causar pérdida de cobertura vegetal, ocasiona arrastre de sedimentos y otros desechos sólidos, los cuales, por procesos de escorrentía y arrastre, terminan depositados en las fuentes hídricas (ríos, quebradas, lagos, entre otros), lo que ocasiona contaminación del agua en general (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006).

Otro factor importante de contaminación del agua en las fuentes hídricas son las descargas de aguas residuales. Esto incluye tanto el agua residual doméstica, como aquellas que poseen contaminantes industriales (químicos, metales pesados, entre otros), pues en conjunto son vertidos al mismo sistema de alcantarillado, o son depositadas directamente, como es realizado por diversas fábricas o industrias, quienes vierten sus desechos directamente sobre las fuentes de agua natural, como se observa en la figura 4 (Mejía, 2005).

Figura 4

Vertimiento de aguas residuales e industriales directamente en fuentes hídricas



Nota. Aspecto común de aguas altamente contaminadas. Reproducido de: “Aguas residuales en el municipio de Albán”, Caracol.com.com, 2021, (https://caracol.com.co/emisora/2016/01/06/bogota/1452096402_896306.html). Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

Todo este conjunto de actividades, ha conllevado a una drástica reducción de las fuentes hídricas, y a que la mayor parte de ellas se encuentren contaminadas, lo que ha generado escases de agua en muchos lugares, donde no existe posibilidad de dar tratamiento a estas aguas, además de que hacerlo resultaría altamente costoso, por todo ello, se están promoviendo acciones en pro de la conservación de las fuentes hídricas, y la búsqueda de alternativas que permitan disminuir la demanda hacia estas fuentes, donde resalta el uso del agua lluvia (Dávila, 2021).

2.3 Crecimiento poblacional

El crecimiento poblacional es otro de los factores más incidentes en la cantidad de agua demandada de las fuentes hídricas. La expansión demográfica de los últimos tres siglos, y que se ha producido conforme al desarrollo de los avances tecnológicos, y de las mejoras en cuanto a la calidad de los sistemas de salud, y al control de enfermedades, han generado en conjunto un aumento acelerado de la población, cuya tendencia continúa creciendo (Borja, 2019).

Según estimaciones realizadas por la Organización de Naciones Unidas, y el Banco Mundial, la población mundial era de 2600 millones de personas en el año 1950. Para el año 1987 se duplicó esta cifra alcanzando los 5000 millones de habitantes. En 2011 se alcanzó la cifra de 7000 millones, y en la actualidad se calcula una población mundial cercana a los 7800 millones de habitantes. Para el año 2050 se estima que habrá cerca de 9800 millones de personas, es decir, un aumento de 2000 millones en solo 30 años (Naciones Unidas, 2021).

En resumen, el aumento de la población se traduce en mayor demanda de recursos naturales, y especialmente de agua. A esta demanda se suman las exigencias de las grandes urbanizaciones, pues para el 2020, según los estudios realizados por las Naciones Unidas, más del 50% de la población mundial residía en zonas urbanas, y la tendencia continúa en aumento. El problema de las ciudades no es solo su alta demanda hídrica, sino los efectos que acarrearán los procesos de urbanización, pues son los principales responsables de problemas hidrológicos, especialmente al incrementar las superficies impermeables, ocasionar disminución del tiempo de

retraso entre la precipitación y la esorrentía (inundaciones), aumentar la erosión, y disminuir la evapotranspiración (Estupiñan & Zapata, 2010).

Capítulo 3. Generalidades de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de ahorro y manejo eficiente de los recursos hídricos

Para un adecuado aprovechamiento del agua lluvia, es necesario tener presente las características del comportamiento hidrológico de cada lugar, y las variaciones que comúnmente se presentan a lo largo del año, pues como se mencionó en el capítulo anterior, existen zonas o regiones donde las diferencias entre las épocas secas y las de lluvias son muy marcadas (Reyes & Rubio, 2014).

La ciencia que se encarga de estudiar el comportamiento del agua, así como su ocurrencia, circulación y distribución, sobre o debajo de la superficie terrestre, se conoce como hidrología. La importancia de esta ciencia se ha acrecentado en las últimas décadas, debido principalmente a las marcadas diferencias que se han presentado en el régimen de precipitaciones de muchas regiones del planeta. Teniendo en cuenta que más del 70% de la superficie del planeta está compuesta por agua, pero de esta solamente un 2,5% es agua dulce, y de esta última, poco menos de un 0,3% es agua superficial, se ha prestado especial atención a los procesos estudiados por la hidrología, con el fin de efectuar acciones preventivas y correctivas que permitan disminuir los efectos negativos que alteran los ciclos hidrológicos (Guerra, 2019).

En este capítulo, se abordará el concepto de ciclo hidrológico, así como los elementos que conforman los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, y los estimativos que hasta la fecha se han efectuado sobre el volumen de agua que puede ser captado por una vivienda o edificación.

3.1 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico hace referencia a todo el conjunto de transformaciones que el agua sufre en su estado físico. Algo esencial para entender este proceso, es que el agua no es un elemento estático, sino que se encuentra en un continuo movimiento entre sus diferentes estados (sólido, líquido y gaseoso), y en continua interacción entre los continentes y los océanos (Ochoa, Padilla, & Sánchez, 2003).

La forma más convencional de explicar el ciclo hidrológico, consiste en considerar como la evaporación que se produce en los cuerpos de agua superficial y especialmente en los océanos, este vapor sube a la atmosfera donde se condensa y cae en forma de precipitación sobre la tierra, después, esta agua vuelve a subir a la atmosfera nuevamente por evaporación, así como transpiración (expulsión de agua por parte de animales y árboles) (Estupiñan & Zapata, 2010).

El agua que se precipita sobre la superficie terrestre, continua el ciclo en diferentes modos, una parte se mantiene en la superficie (en forma de escorrentía), otra parte se evapora y regresa a la atmosfera, y una tercera parte se infiltra en la tierra para alimentar las aguas y corrientes subterráneas. En el ciclo hidrológico también aportan los movimientos de agua generados en ríos, lagos, aguas costeras, e incluso, las erupciones volcánicas. En la figura 5, se muestra un resumen de los procesos que intervienen en el ciclo hidrológico (Ochoa, Padilla, & Sánchez, 2003).

Figura 5

Exposición gráfica del ciclo hidrológico



Nota. Representación típica del ciclo hidrológico. Reproducido de: “Ciclo hidrológico”, Wikipedia, 2020, (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ciclo-del-agua.jpg>). Obra de dominio público.

Se debe resaltar, que el conjunto de actividades que realiza el hombre y que afectan negativamente el manejo de los recursos naturales (agua, suelo, flora y fauna), han inducido a una aceleración de los procesos de desertificación, manifestándose principalmente en: deforestación, sobrepastoreo, erosión del suelo, disminución de la materia orgánica, compactación del suelo y contaminación en general, los cuales alteran el ciclo hidrológico, y por tanto, la distribución y calidad del agua (IICA, 1998).

Hoy día se encuentran en desarrollo una gran cantidad de programas y proyectos de desarrollo urbano, agrícola e industrial, los cuales son ajustados de acuerdo a proyecciones económicas y sociales, pero que no tienen en cuenta parámetros de carácter ambiental, y por tanto, se han convertido en modificadores negativos del ciclo hidrológico (IICA, 1998).

3.2 Elementos que conforman el sistema de aprovechamiento de agua lluvia

Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia presentan características que pueden variar de acuerdo a las necesidades por las cuales cada sistema es aplicado, sin embargo, de forma general, la mayor parte se encuentra integrado por los siguientes componentes: área de captación, tanque de almacenamiento o embalse, canales y colectores, y obras complementarias, a continuación se abordan cada uno de estos componentes (Reyes & Rubio, 2014).

3.2.1 Área de captación.

Hace referencia a toda la zona o área descubierta, incluyendo cubiertas, zonas duras, plazoletas, parqueaderos, entre otros. En cada sistema, se determina un área efectiva de captación, a partir de la cual se encauza el agua lluvia hacia un solo punto o a varios, mediante canales, bajantes y colectores. Con esto se busca impedir la llegada al tanque de almacenamiento de agua lluvia contaminada, ya sea de sedimentos o sólidos verdes. El área de captación debe

poseer la mayor área posible, y contar con las pendientes necesarias para orientar los caudales aprovechables (Reyes & Rubio, 2014).

3.2.2 Tanque de almacenamiento o embalse.

El tanque de almacenamiento o embalse, es el área destinada a acumular el agua obtenida en el área de captación. Sus dimensiones dependen de la demanda de agua a utilizar, así como de aspectos técnicos y financieros, y de la concentración de caudales que se generan en el área de captación (Pino, 2020).

Las dimensiones del tanque de almacenamiento deben ser las más adecuadas, pues se busca que el sistema en conjunto, permita un equilibrio entre el agua captada, almacenada y la utilizada, con el fin de optimizar al máximo el aprovechamiento del agua lluvia (Pino, 2020).

3.2.3 Canales, bajantes y colectores.

Incluye toda la infraestructura que en conjunto, permite la conducción y distribución del agua obtenida en el área de captación hasta el tanque de almacenamiento. Se busca principalmente que estos componentes no sufran de sedimentación, lo cual puede alterar las velocidades de circulación del agua (Giraldo, 2016).

3.2.4 Obras complementarias.

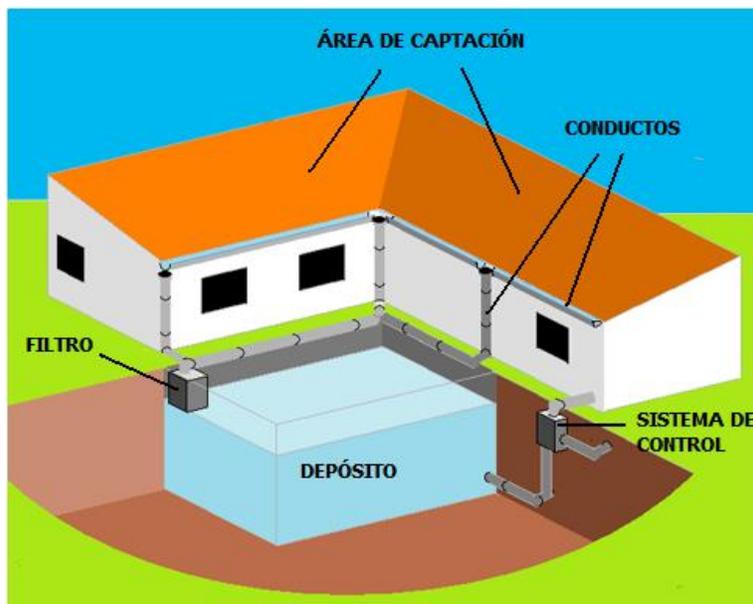
Las obras complementarias hacen referencias a aquellos componentes que permiten realizar un mantenimiento o mejoramiento del sistema. Se incluyen como obras complementarias: sedimentadores, disipadores de energía, equipos de bombeo, entre otros. Con estos se busca que el agua captada sea almacenada con la menor cantidad de sedimentos posibles, y a una velocidad en la que no se produzcan inconvenientes en el flujo, evitando además problemas de erosión (Reyes & Rubio, 2014).

Los sistemas de potabilización del agua lluvia también son considerados como obras complementarias, esto debido, a que una gran mayoría de estos sistemas busca captar agua lluvia para usos diferentes al del consumo humano, sin embargo, en muchos casos se hace necesario instalar este tipo de sistemas de potabilización. En la figura 6 se muestra el esquema general de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en una vivienda, la cual cuenta con un sistema de potabilización (filtro) (Reyes & Rubio, 2014).

Por último, se incluye como obra complementaria los sistemas de bombeo, con los cuales se busca distribuir el agua almacenada hacia redes especiales, o para adaptarlas a sistemas de riego que puedan ser usados por goteo y por aspersión, en el caso de sistemas que complementen las demandas hídricas agrícolas (Reyes & Rubio, 2014).

Figura 6

Sistema de recolección de agua lluvia



Nota. Esquema representativo de un sistema de recolección de aguas lluvias. Reproducido de “Aguas Lluvias”, Sitiosolar.com, 2021, (<http://www.sitiosolar.com/los-sistemas-de-recoleccion-de-agua-de-lluvia/>). Obra de dominio público.

La complejidad del sistema de captación de agua lluvia, en cuanto a sus aspectos técnicos, y la infraestructura que esta requiere, depende del grado de tratamiento que se pretenda lograr con el agua captada, para de esta forma aumentar las alternativas de aprovechamiento de la misma, por lo que existen sistema de captación y aprovechamiento de agua lluvia que consisten en almacenar agua en un solo tanque, hasta grandes sistemas que se encargan de distribuir agua a comunidades enteras (Ávila & Ramírez, 2015).

3.3 Características y parámetros de calidad del agua lluvia

El agua lluvia es el resultado del fenómeno meteorológico conocido como precipitación. El proceso inicia con la evaporación del agua debido al calentamiento solar, principalmente en mares y océanos; el agua evaporada asciende a la atmósfera en forma de vapor, y paulatinamente se va condensado debido a las bajas temperaturas. Inicialmente este vapor se aglomera formando nubes, sin embargo, cuando éstas alcanzan el tamaño y peso suficiente, no logran mantenerse suspendidas en el aire, por lo que se precipitan en forma de lluvia (Fandiño & Ospina, 2020).

La composición natural del agua lluvia es aceptable para su consumo humano, incluso sin requerir un proceso de desinfección o tratamiento. El pH es un indicador de la calidad del agua lluvia, el cual en condiciones óptimas se encuentra comprendido entre 5 a 6. Sin embargo, actualmente debido a los procesos de industrialización masiva, circulan por la atmosfera una gran cantidad de gases contaminantes (óxidos de nitrógeno, azufre, entre otros), los cuales se mezclan con el vapor de agua formando ácidos sulfúricos y nítricos comprendidos entre un rango de pH de 4, incluso con valores inferiores (ácidos) (Montero, 2016).

Así mismo, el agua lluvia es susceptible a contaminación debido a la presencia de diversas sustancias sobre las superficies de captación. Es común que el agua en su proceso de captación y conducción, incluso de almacenamiento, sea contaminada por elementos químicos como el aluminio, amoniaco, cloruros, plomo, cobre, hierro, manganeso, sodio, entre muchos otros, los

cuales, en determinadas concentraciones, representan un peligro potencial para la salud humana (Guerra, 2019).

Por lo anterior, en muy pocas zonas del planeta se recomienda el consumo directo del agua lluvia, por lo que está, y especialmente la empleada para consumo humano, debe ser sometida a varios análisis y pruebas, con el fin de hacerla apta para consumo, por lo que se requiere verificar que los sistemas empleados estén trabajando de la manera correcta. Dentro de estos análisis destacan los bacteriológicos, el de acidez o pH, y el de turbiedad (Correa A. , 2014).

Con el análisis bacteriológico se verifica la presencia de bacterias coliformes y bacterias patógenas, ya que son las principales responsables de enfermedades intestinales, y cuyas manifestaciones más comunes son la tifoidea, disentería, cólera y gastroenteritis. En cuanto al análisis de acidez o pH, se busca garantizar el nivel de acidez del agua lluvia. De acuerdo a la Resolución 2115 de 2007, en Colombia el agua para consumo humano debe poseer un pH comprendido entre 5,5 y 9,0. Así mismo, esta norma establece el pH aceptable de acuerdo al uso del agua: fines recreativos (5 a 9), uso agrícola (4,5 a 9), uso para preservación de flora y fauna (6,5 a 9) (Correa A. , 2014).

Con el análisis de turbiedad, se busca determinar los materiales suspendidos en el agua, ya sean arcillas, sedimentos, algas y otras materias orgánicas. Así mismo, se recomienda realizar los ensayos adicionales que sean necesarios para garantizar las condiciones del agua, como olor,

sabor, conductividad, presencia de elementos químicos: sulfatos, cloruros, nitritos, hierro, aluminio, cloro, entre otros (Mejía, 2005).

Capítulo 4. Marco legal sobre la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua de origen pluvial

Hasta la fecha, el aprovechamiento y almacenamiento de aguas lluvias, principalmente en pueblos, veredas, ciudades y comunidades en general, ha permitido suplir parcialmente las necesidades diarias de sus habitantes. Durante algunas temporadas del año y en muchos lugares, esta agua representa la única alternativa de abastecimiento (Barreto, Gualteros, & Vargas, 2018).

La escasez del recurso hídrico, y las dificultades para garantizar el saneamiento básico, han conllevado a la búsqueda de soluciones que permitan reducir la demanda de agua de las fuentes hídricas superficiales, debido principalmente a la contaminación de los ríos, y a los procesos de degradación a los que se han visto expuestos (Arboleda, 2016).

En la actualidad, se continua incentivando la construcción sostenible de viviendas y edificios que permitan aprovechar el uso de las aguas lluvias con el fin de emplearlas en diversas formas como: agua potable, o para su empleo doméstico en sanitarios, lavados, riegos, entre otros. Sin embargo, con el fin de incentivar su uso, se han establecido normativas en pro de estos sistemas. En este capítulo se abordan las consideraciones normativas referentes a los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias.

4.1 Normatividad internacional que ampara la aplicabilidad de los sistemas de recolección de agua pluvial

La primera iniciativa global para el aprovechamiento del agua lluvia es la denominada Asociación Internacional de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (IRCSA, por sus siglas en inglés). Esta asociación, fundada en el año 1989, se ha concentrado en el uso de los sistemas de captación de agua lluvia, centrándose en el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan lograr este fin. Actualmente la IRCSA tiene presencia en más de 40 países, en los cuales imparten conferencias para estimular el aprovechamiento de las potencialidades de este recurso (Solano, C., et al., 2017).

Tres años después de la conformación de la IRCSA, se realizó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en la ciudad de Nueva York (1992). En dicho convenio cerca de 200 países se comprometieron a reducir sus emisiones de gases contaminantes, con el fin de mitigar los impactos que las grandes industrias estaban generando sobre el medio ambiente. Posteriormente se fueron formalizando las disposiciones de dicho acuerdo en el denominado Protocolo de Kioto (1997), sin embargo, a pesar de que en un principio dicho acuerdo fue aprobado, años después diversos países se fueron retirando del acuerdo, entre ellos, Estados Unidos. Esta situación conllevó a que solo hasta el año 2005 la Organización de Naciones Unidas ratificara la validez de dichos acuerdos. Después se realizaron convenciones donde se añadieron nuevos objetivos y se establecieron plazos para su consecución, destacando el Acuerdo de París (2016), y Rio de Janeiro (2021) (Torres, 2019).

A pesar de que estos acuerdos están principalmente enfocados en el control de las emisiones contaminantes, abordaron la problemática ambiental de forma que consideraron todas las problemáticas presentes, entre ellas, la del suministro de agua. Dentro de estos acuerdos destaca la Declaración Conjunta sobre el Aprovechamiento de Agua Lluvia, editada en el Día Mundial del Agua en el año 2011 por más de 40 entidades internacionales. El principal objetivo de esta declaración, es desarrollar sistemas de recolección y almacenamiento que permitan que el agua lluvia reduzca hasta en un 40% el consumo de agua potable en cada hogar. De esta manera se busca disminuir la demanda de agua potable proveniente principalmente de fuentes hídricas superficiales (Torres, 2019).

4.2 Normatividad colombiana que avala el uso del agua lluvia

Colombia, como país participante de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en todas sus ediciones, ha considerado las normativas para el aprovechamiento de las aguas lluvias. En el año 1997 se radicó la ley 373 sobre el uso eficiente del recurso hídrico. Con esta ley, se buscaba la obligatoriedad en los proyectos de construcción de añadir sistemas que permitieran el reciclaje del agua lluvia mediante sistemas de recolección y almacenamiento. Sin embargo, existe un alto desconocimiento sobre esta ley, y son pocas las construcciones que acatan el cumplimiento de esta norma (Clavijo & Silva, 2018).

Ante la falta de cumplimiento de esta norma, en el año 2017, el Senado de la República de Colombia radicó el Proyecto de Ley 48, el cual busca dictar las normas para implementar e

incentivar sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias, con el propósito de cuidar el recurso hídrico, y contribuir a la preservación del medio ambiente. En esta misma ley se aborda de forma conjunta el aprovechamiento de la energía solar (Ley 48, 2017).

En el Artículo 3 de la Ley 48, se establece la creación del Fondo Nacional para el uso y el Aprovechamiento de las Aguas Lluvias y la Energía Solar, como una cuenta especial sin personería jurídica adscrita al Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el cual busca diseñar y financiar estímulos e incentivos para la implementación de sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y sistemas de captación y aprovechamiento de energía solar (Ley 48, 2017).

La importancia de esta ley es que promueve un cambio en el imaginario colectivo de los colombianos, pues está enfocada en considerar al agua lluvia como un recurso, en vez de un residuo, por lo que el Estado y sus instituciones deben garantizar la transmisión del conocimiento de la gestión del recurso hídrico, así como facilitar el desarrollo de herramientas conceptuales para emprender actividades y hábitos de consumo sostenible del agua, implementando alternativas arquitectónicas de diseño de edificaciones y dispositivos que posibiliten la captación de aguas lluvias que permitan suplir las demandas de agua para usos en los que no se requiera potabilización (Ley 48, 2017).

Uno de los aspectos centrales de la Ley 48, es que las normativas existentes, como el Código Colombiano de Fontanería, expuesto en la NTC 1500, ya brindan indicaciones para

garantizar el adecuado funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua potabilizada, y de los sistemas de desagüe de aguas negras y lluvias, así como todos aquellos dispositivos que sean requeridos para su correcto funcionamiento, es decir, se concentran en el desagüe de aguas lluvias, pero no menciona su aprovechamiento para fines hidrosanitarios o de riego (Ley 48, 2017).

En la Ley 48, en su Artículo 2, se establece la obligatoriedad de establecer en todas las instalaciones, edificaciones, viviendas, equipamientos y obras públicas que se construyan en el perímetro urbano, el implementar sistemas que permitan efectuar la recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias, así como sistemas de captación y aprovechamiento de energía solar. En la actualidad, diversas edificaciones, principalmente las de tipo institucional, han implementado este tipo de sistemas, sin embargo, aún existe un desconocimiento generalizado por parte de constructores sobre el acatamiento de esta ley, por lo que se requieren mayores controles de supervisión y vigilancia (Ley 48, 2017).

Capítulo 5. Análisis comparativo de los diferentes tipos de tratamiento de las aguas pluviales

Como se mencionó en capítulos anteriores, los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias y su complejidad, depende esencialmente del uso que se vaya a brindar al agua recolectada. En este capítulo se abordaran los sistemas de tratamiento de agua lluvia que hasta la fecha han sido implementados.

5.1 Técnicas utilizadas para el tratamiento de agua lluvia

Todo tratamiento y aprovechamiento del agua lluvia debe basarse en un proceso de tratamiento de acuerdo a su uso final. Se recomienda que la gestión integral del agua lluvia se base en tres aspectos principales: cantidad, calidad y servicio, esto con el fin de asegurar que el agua cuente con la higiene necesaria, y sea viable económicamente. De forma general, los procesos de tratamiento del agua lluvia se concentran en analizar la calidad del agua en base a un conjunto de normativas que son reconocidas por importantes organizaciones, como la Organización Mundial de la Salud y entes territoriales que regulan su uso, ya sea mediante parámetros físicos (pH, color, temperatura, partículas), químicos (cloruros, sodio, metales, materia orgánica), microbiológicos (coliformes, bacterias) y biológicos-orgánicos (descargas bioquímicas y químicas de oxígeno, compuestos orgánicos volátiles) (Estupiñan & Zapata, 2010).

En la práctica, el tratamiento de las aguas lluvias está enfocado en procesos como: la extracción de turbiedad, impurezas biológicas, hierro, manganeso, así como garantizar un color y olor adecuado. Aunque son diversos los sistemas o técnicas utilizadas para el tratamiento de agua lluvia, éstas se pueden resumir en tres grandes grupos: físicos, químicos y biológicos (Estupiñán & Zapata, 2010).

5.1.1 Tratamientos físicos.

Los tratamientos físicos del agua lluvia se caracterizan por utilizar gravas y arenas, sean estas gruesas o finas, además de sílice y alúmina, para reducir generalmente entre un 58% y un 95% los niveles de turbidez del agua lluvia almacenada, así como los sólidos suspendidos, el nitrógeno total, metales pesados y demás contaminantes orgánicos (Noreña, 2009).

Dentro de los tratamientos físicos destacan los procesos de filtración lenta en arena (FLA), filtración en distintos estratos de suelo, y filtración en múltiples etapas (FIME), los cuales se pueden emplear de forma conjunta con procesos de sedimentación previa, o aplicando carbón activado y, en algunos casos, desinfección química (Noreña, 2009).

Los anteriores sistemas de filtración, consisten en hacer circular el agua lluvia recolectada a través de un manto poroso de arena, o de diversas capas de materiales. Durante el proceso las impurezas son retenidas al entrar en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante. Usualmente se añaden sustancias que faciliten la degradación química y biológica

reduciendo la materia retenida en los distintos estratos, de tal forma que se obtengan formas simples que puedan fácilmente ser removidos del sistema (Correa G. , 2019).

Los filtros de arena, los de menor costo, permiten hacer una clarificación del agua captada, y son muy comunes en conjuntos residenciales y comunidades rurales donde existe la necesidad de realizar su propio tratamiento primario de agua. El filtro de arena más común es el que se observa en la figura 7, en el cual el agua se mueve a través de la arena por gravedad. El agua captada es vertida en la parte de arriba del estrato de arena, dónde los sólidos y demás materiales son retenidos, de tal forma que el agua sale limpia, o por lo menos con menor contaminación, en la parte inferior donde se encuentra la capa de grava (Correa A. , 2014).

Los tratamientos físicos son los más empleados debido a su facilidad de operación y mantenimiento, y por ello, suelen ser las opciones económicamente más viables, no obstante, tienen como principal inconveniente que los estratos de material (arena, grava, entre otros...) son susceptibles a la afectación del agua por agentes contaminantes, por lo que requieren de revisiones para verificar el estado y calidad de estos materiales (Estupiñan & Zapata, 2010).

Figura 7

Filtro de arena por gravedad conformado por diferentes estratos de material



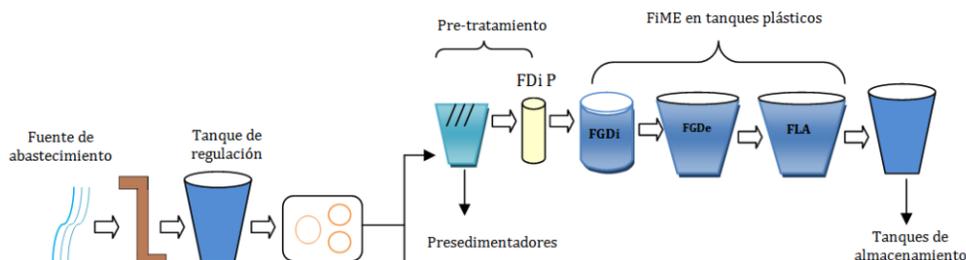
Nota. Diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de ahorro de agua potable en la Universidad Libre de Colombia, Correa, 2014. Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

En Colombia, los tratamientos físicos del agua lluvia más comunes son los de filtración en múltiples etapas (FIME). Básicamente consisten en combinar procesos de filtración gruesa en grava y filtros lentos de arena. Para ellos se utilizan tanques donde se ubica un lecho de arena fina, el cual se soporta sobre una capa de grava, la cual constituye el soporte de la arena. Está a su vez se ubica sobre un sistema de tubería perforadas que recolectan el agua filtrada. En este

filtro el flujo es descendente. En la figura 8 se observa el esquema general de funcionamiento de este tipo de sistemas.

Figura 8

Diagrama de un sistema de filtración en múltiples etapas - FIME



Nota. Implementación de un sistema de captación y filtración de agua lluvia en la vereda Verdín del Socorro, Santander, Salazar, 2019. Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

5.1.2 Tratamientos químicos.

Dentro de los tratamientos químicos destacan la coagulación, intercambio de iones y carbón activado, los cuales se suelen acompañar de una etapa de desinfección posterior que permite purificar el agua. Los tratamientos químicos suelen ser los más costosos, ya que requieren la adquisición de elementos químicos, de operación y mantenimiento, que en muchos casos no son justificados para el uso final del agua (Estupiñan & Zapata, 2010).

De forma general, la aplicación de un tratamiento químico es básicamente utilizar determinadas sustancias que aceleran los procesos de purificación del agua. En el caso de los coagulantes, los productos químicos más comunes son el sulfato de aluminio, el cloruro de polialuminio (también llamado alumbre líquido) y el sulfato férrico, los cuales aceleran el proceso de sedimentación de las partículas sólidas presentes en el agua, y facilitan su posterior remoción (Rojas, 2020).

En cuanto al intercambio de iones, se emplean determinadas resinas con el fin de eliminar determinados contaminantes presentes en el agua, como nitrato, flúor, sulfato, boro y arsénico. Por su parte, el carbón activado permite la retención de las partículas e impurezas presentes en el agua, gracias a su gran capacidad de absorción, y es ideal para descontaminar el agua de solventes, pesticidas, residuos industriales y otra gran cantidad de productos químicos (Humma.com.ar, 2019).

5.1.3 Tratamientos biológicos.

Los tratamientos biológicos del agua lluvia se engloban dentro de los denominados Sistemas Sostenibles de Drenaje Urbano (SUDS), pero estos están principalmente centrados en la reducción de contaminantes y control de inundaciones, es decir, su aplicación está condicionada a grandes espacios de construcción, por lo que no se busca un uso directo de esta agua para consumo humano o animal, sino más bien una reducción del impacto que ocasionan las escorrentías superficiales generadas por las aguas lluvias (Estupiñan & Zapata, 2010).

Aunque existen diversas alternativas dentro de los Sistemas Sostenibles de Drenaje Urbano (SUDS), el más relacionado al tratamiento biológico del agua lluvia, son los denominados estanques de detención (ver figura 9), con los cuales se busca que el agua sea retenida para facilitar los procesos de sedimentación natural, con lo cual se mejora la calidad del agua, y se facilita del desarrollo de la vegetación circundante (CIRIA, 2015).

Figura 9

Estanque de detención o retención



Nota. Ejemplo de aplicación de un estanque de detención. Reproducido de: “The Suds Manual”, CIRIA, 2015. Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

5.2 Filtros

Los filtros empleados para el tratamiento de aguas lluvias, consisten en aparatos o embudos compuestos por diversas capas de materiales sobrepuestos entre sí, por lo general las capas están compuestas por minerales de fácil acceso. Los filtros actúan como medios que permiten separar los componentes sólidos presentes en el agua mediante un medio poroso. Este medio poroso, también denominado como medio filtrante, es el elemento fundamental para el proceso de filtración del agua (Giraldo, 2016; Bautista, 2020).

Los filtros pueden trabajar como un medio de tratamiento físico o químico del agua, o como una combinación de ambos. Los procesos más comunes que se realizan dentro de un filtro incluyen el cribado, la floculación y la coagulación (Bautista, 2020).

Los filtros actuales son considerados como especiales para el tratamiento del agua lluvia, ya que incluyen un sofisticado sistema de separación de sólidos, ya sea mediante un mecanismo externo, o por medio de un sistema integrado internamente. En la figura 10 se observa un filtro diseñado especialmente para aprovechar las aguas lluvias. Estas pasan a través de una serie de capas compuestas principalmente por arena, la cual descansa sobre capas de grava (Domínguez & González, 2018).

Figura 10

Ejemplo de filtro de aguas lluvias



Nota. Sistema de captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia, Domínguez & González, 2018. Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

En la actualidad, existe una gran diversidad de filtros comerciales en el mercado, cuyo objetivo es lograr el mayor tratamiento posible del agua, de tal manera que se pueda garantizar su consumo directo. Los filtros más sofisticados cuentan con procesos automatizados donde se integran diversos componentes. Un ejemplo de este tipo de filtros es el denominado filtro de retro-lavado, el cual contiene discos y piezas móviles no susceptibles de desgaste, lo cual garantiza una larga vida y alta resistencia. En la figura 11 se observa un modelo de este tipo de filtros (Guarin, 2020).

Figura 11

Filtro comercial de retro-lavado



Nota. Diseño y evaluación de un sistema piloto compacto de tratamiento de aguas pluviales para zonas rurales y urbanas en Barrancabermeja, Santander, Guarín, 2020. Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

Los filtros convencionales requieren de un proceso periódico de lavado o limpieza debido a la acumulación de sedimentos, materia orgánica u otros componentes que saturan el sistema y disminuyen la velocidad en que pueden limpiar o purificar el agua. En el caso de filtros de retro-lavado, como el de la figura anterior, no es necesario este tipo de limpieza, ya que su diseño permite que se renueven y limpien sin necesidad de hacerlo manualmente, lo que representa una

gran ventaja en cuanto a mantenimiento, sin embargo, su costo es mucho mayor al de un filtro convencional (Guarin, 2020).

Con el fin de brindar alternativas económicas y sustentables para la filtración del agua, se han propuesto diversos modelos de filtros. Uno de ellos es un filtro donde se emplea guadua para contener los distintos estratos de material que conforman el medio filtrante, en la figura 12 se observa este tipo de filtro (Bautista, 2020).

Figura 12

Filtro a base de guadua y materiales de fácil acceso

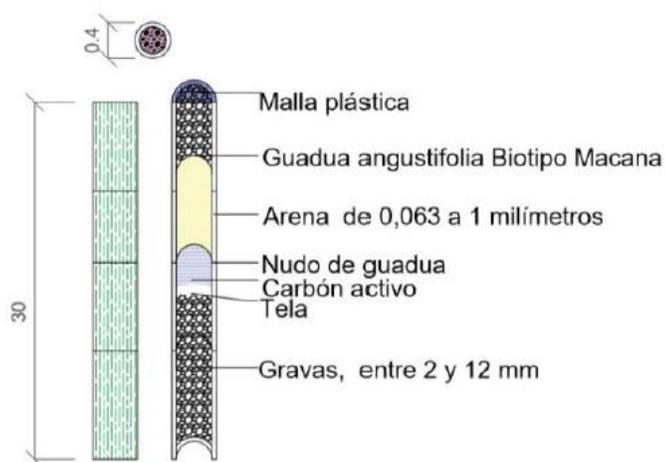


Nota. Diseño de la instalación de un módulo filtrante de aguas lluvias utilizando guadua, gravas, arenas y carbón activo, Bautista, 2020. Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

Este filtro es construido de forma artesanal empleando un segmento de guadua no mayor a 60 cm, en cual se conforman diversas capas de material usando arena, carbón activado, gravas, y una malla plástico o metálica. En la figura 13 se observa la distribución de estos materiales dentro del filtro.

Figura 13

Diseño del filtro de aguas lluvias a base de guadua



Nota. Diseño de la instalación de un módulo filtrante de aguas lluvias utilizando guadua, gravas, arenas y carbón activo, Bautista, 2020. Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

Como el anterior filtro, existen otras propuestas donde se han empleado materiales orgánicos, como la cascarilla de arroz, como medio filtrante de las aguas lluvias, sin embargo,

los materiales de carácter orgánico aunque han demostrado mejorar las características del agua, tienen como principal desventaja el requerir mantenimiento constante, además del recambio periódico del material (Suárez, et al., 2015).

5.3 Implementación de un sistema de recolección de aguas lluvias

La implementación de un sistema de recolección de aguas lluvias está orientado en aprovechar la mayor cantidad de agua posible. Actualmente se estima que una persona consume $3,8 \text{ m}^3$ de agua por mes, lo que significa que una familia promedio de 4 personas consume alrededor de $15,4 \text{ m}^3$ de agua por mes, lo que representan $184,8 \text{ m}^3$ de agua por año. Ahora bien, estas cifras son importantes ya que permiten dimensionar las cantidades de agua lluvias disponibles (Fandiño & Ospina, 2020).

El desarrollo de un sistema de recolección puede realizarse de diversas maneras dependiendo de las necesidades o del caso específico en que se busque ser implementado, sin embargo, de forma general se deben tener presente los siguientes los aspectos abordados a continuación.

5.3.1 Área de contribución o de captación.

El área de contribución o de captación, es el área disponible para capturar el agua lluvia, y generalmente hace referencia a un área cubierta, principalmente las cubiertas de casas y edificios, las cuales mediante tuberías complementarias permiten dirigir el agua hacia puntos específicos (Montero, 2016).

El valor del área de contribución puede calcularse mediante la ecuación general multiplicando los lados del área de captación. A manera de ejemplo, se toma un área de 70 m², que es área promedio de las viviendas en Colombia, principalmente las de interés social.

5.3.2 Información pluviométrica de la zona.

Conocida el área que se tiene disponible para captar las aguas lluvias, se hace necesario conocer la información pluviométrica de la zona. Este aspecto es de suma importancia, ya que en Colombia se presentan grandes diferencias de precipitación entre las distintas regiones que conforman el país. Como ejemplo, se muestra en la tabla 1, el promedio de precipitación del municipio de Ocaña, Norte de Santander, y así mismo se calcula la oferta en m³ que representa dicha precipitación para un área de captación de 70 m² (Fandiño & Ospina, 2020).

Se observa en los resultados de la Tabla 1, que una vivienda promedio en la ciudad de Ocaña, con un área de 70 m^2 , puede captar cerca de 120 m^3 de agua al año. Ahora bien, este valor resulta considerable, dado que la precipitación anual de esta región oscila entre los 1400 – 1800 mm, sin embargo, se debe tener presente que en Colombia existen regiones donde la precipitación supera los 4000 mm anuales.

Tabla 1

Agua lluvia que puede ser captada en la ciudad de Ocaña con un área de captación de 70 m² considerando el promedio de precipitación mensual dado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Mes	Promedio de precipitación (mm)	Área de captación (m ²)	Oferta (m ³)
Enero	25	70	1,75
Febrero	28		1,96
Marzo	88		6,16
Abril	159		11,13
Mayo	285		19,95
Junio	142		9,94
Julio	100		7,00
Agosto	158		11,06
Septiembre	250		17,50
Octubre	270		18,90
Noviembre	145		10,15
Diciembre	55		3,85
Total agua disponible para captación en 1 año			119,35

Nota. Se calcula la oferta de acuerdo a la relación 1 mm de lluvia = 1 litro de agua por m².

Autores, 2022.

5.3.3 Estimación del caudal en los canales.

Ahora bien, conociendo el agua que puede ser captada, se hace necesario determinar el caudal del agua lluvia en los canales, esto con el fin de conocer el punto crítico del sistema, que

es aquel que se presenta durante la mayor precipitación posible, comúnmente en un aguacero torrencial. Para calcular este caudal se debe utilizar la ecuación 1 (Fandiño & Ospina, 2020).

$$Q = CexixA \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

Q: Caudal de agua en los canales.

Ce: Coeficiente de escurrimiento.

i: Intensidad de lluvia.

A: Área de la superficie de captación.

El coeficiente de escurrimiento es un valor que depende del material sobre el cual circula el agua, sin embargo, los valores promedios y comúnmente aceptados se muestran en la tabla 2. En cuanto a la intensidad, este valor hace referencia a la precipitación que puede presentarse en un determinado lugar durante un período de tiempo generalmente no mayor a 60 minutos. Para la ciudad de Ocaña, el IDEAM, registra una intensidad máxima de 52 mm/h o 0,052 m/h. Considerando un coeficiente de escurrimiento de 0,85, valor promedio para tejas ya que es el material más frecuente en las cubiertas de viviendas en la ciudad de Ocaña, se reemplazan todos estos valores en la ecuación 1, obteniéndose un caudal de 0,0008 m³/s o 0,8 litros/s.

Tabla 2*Coefficientes de escurrimiento más comunes*

Tipos de captación	Valor i
Cubiertas superficiales	
Concreto	0,6 - 0,8
Pavimento	0,5 - 0,6
Geo membrana de pvc	0,85 - 0,90
Azoteas	
Azulejos - Tejas	0,80 - 0,90
Hojas de metal acanaladas	0,70 - 0,90
Captación en Tierra	
Suelo con pendiente menor al 10%	0,00 - 0,30
Superficies naturales rocosas	0,20 - 0,50

Nota. Adaptado de: Estado del arte de los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa en el ahorro de agua potable en vivienda. Montero, 2016

5.3.4 Recolección y conducción.

Conociendo el valor del caudal de agua disponible en un período crítico, de máxima precipitación, se puede estimar el diámetro de tubería necesaria para transportar el agua. Para caudales inferiores a $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$, resulta suficiente emplear tuberías con diámetros no mayores a 4 o 6 in (Barreto, Gualteros, & Vargas, 2018).

Por último, se pueden calcular las dimensiones de las tanques recolectores de agua, sin embargo, este aspecto generalmente depende o se condiciona por factores económicos, ya que el valor de estos tanques, ya sean prefabricados o construidos en sitio, representan el aspecto de mayor valor de todo el sistema de recolección de aguas lluvias. Es usual en muchas regiones de Colombia, que las viviendas cuenten con tanques de entre 1 a 2 m³, no obstante, estos representan un almacenaje muy reducido para la alta cantidad de aguas lluvias disponibles (Correa A. , 2014).

5.4 Ventajas y desventajas de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia

Dentro de las principales ventajas que ofrecen los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia se encuentran (Reyes & Rubio, 2014):

- Alta calidad físico química del agua lluvia en la mayor parte de regiones.
- Sistema de abastecimiento ideal para comunidades dispersas, o donde el suministro de agua potable no es constante.
- Facilidad para implementar materiales locales.
- Es un sistema que no requiere del uso de energías adicionales.
- Facilidad de mantenimiento.
- Reducción de costos de consumo del agua proveniente de la red pública.
- Es un sistema sostenible y amigable con el medio ambiente, que permite conservar el suelo, el agua, y no produce ningún tipo de contaminación.

En cuanto a las desventajas, se consideran aspectos como (Reyes & Rubio, 2014):

- Dependiendo de los métodos de recolección, filtración y almacenamiento, el sistema puede requerir una considerable inversión inicial para su implementación.
- La cantidad de agua captada depende de la región donde se localice el sistema, ya que la precipitación anual varía entre distintas regiones geográficas.
- En viviendas donde el área de captación sea muy pequeña, el sistema puede resultar no rentable, ya que los volúmenes de agua captados resultan muy bajos.

5.5 Caso práctico: filtración de aguas lluvias captadas en techos de diferentes materiales

Con el fin de realizar un aporte práctico a la presente investigación compilativa, se decidió realizar ensayos físico-químicos al agua lluvia captada de 3 techos diferentes: tejado convencional (de barro cocido), techo metálico y tejado de Eternit o fibrocemento. Así mismo, de cada uno de estos techos se toma una muestra filtrada mediante un filtro artesanal.

Para el filtrado del agua lluvia obtenida de los diferentes tipos de techos, se utilizó un filtro casero fabricado por los autores donde se empleó 3 materiales diferentes: arena, carbón y grava, distribuidos en tres capas, como se observa en la figura 14.

Figura 14

Filtro casero compuesto por arena, grava y carbón



Nota. Filtro desarrollado por los investigadores para el tratamiento del agua lluvia, Autores, 2022.

De esta manera se trabajó con un total de seis muestras de agua lluvia diferentes, las cuales fueron ensayadas en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. En la figura 15 se observa la apariencia del agua lluvia sin filtrar (vaso del lado derecho) y el agua lluvia filtrada con el filtro casero (vaso del lado izquierdo).

Figura 15*Agua lluvia filtrada y sin filtrar*

Nota. Aspecto visual del agua filtrada (vaso izquierdo) y no filtrada (vaso derecho), Autores, 2022.

El primer ensayo realizado correspondió a la obtención de los valores de organismos patógenos presentes en el agua lluvia, cuyo resumen de resultados se muestra en la tabla 3.

Tabla 3*Valores obtenidos en la prueba microbiológica del agua lluvia de cada tipo de tejado*

Microorganismo	Unidad	Tejado convencional (barro cocido)		Tejado metálico		Tejado de Eternit o Fibrocemento		Valor Máximo Admisible indicado por el RAS
		Filtrada	Sin Filtrar	Filtrada	Sin Filtrar	Filtrada	Sin Filtrar	
Escherichia Coli	UFC/mL	0	>300	1	4	0	209	0
Coliformes totales	UFC/mL	1	>300	1	104	0	287	0

Nota. Autores, 2022.

Se observa en los resultados de la Tabla 3, que el agua lluvia captada sin filtrar de los 3 tipos de techos, no cumplió con el estándar de calidad mínimo exigido por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, el cual establece que no debe existir presencia de Escherichia Coli y de Coliformes totales en el agua para consumo humano.

En cuanto al agua filtrada y obtenida de cada uno de los tipos de techos, se observa que el filtro logró eliminar la presencia de microorganismos patógenos provenientes del agua captada del tejado de Eternit o Fibrocemento, y para las otras 2 muestras el valor no fue superior a 1. Por tal razón, se decidió realizar el análisis fisicoquímico del agua lluvia solo sobre las muestras previamente filtradas, pues se constató que el agua no filtrada no debe en ningún caso ser consumida si es captada de los techos mencionados anteriormente. En la tabla 4 se muestra el resumen de resultados obtenidos con la prueba fisicoquímica.

Se observa en los resultados físico-químicos obtenidos de los tres diferentes tejados, que estos cumplen con los valores máximos admisibles indicados por el RAS en cuanto a los siguientes aspectos: nitratos, nitritos, sulfatos, hierro, turbiedad, cobre, alcalinidad y dureza total. Es decir, de las 12 propiedades físico-químicas estudiadas se logró cumplir en 8 de ellas.

Tabla 4

Valores obtenidos en la prueba físico-química del agua lluvia filtrada de cada tipo de tejado

Análisis	Unidad	Tejado convencional (barro cocido)	Tejado metálico	Tejado de Eternit o Fibrocemento	Valor Máximo Admisible indicado por el RAS
Nitratos	mg/L N-NO ₃ ⁻	5,72	9,24	8,36	10
Nitritos	mg/l N-NO ₂ ⁻	0,0033	0,0001	0,0396	0,1
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	0	0	0	250
Hierro	mg/ L Fe	0	0	0	0,3
Fosfatos	mg/L PO ₄ ³⁻	0,61	0,61	0,42	0,2
Turbiedad	NTU	2,49	1,47	1,77	5
Color aparente	UPtCo	21	11	17	15
Cobre	mg/L Cu	0	0,01	0	1
pH	pH	5,94	5,84	5,99	6,5 - 9,00
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	11	10,5	15,5	100
Dureza total	mg/L CaCO ₃	23,3	27	24,1	160
Conductividad	uS/cm	25,4	12,44	17,07	50 - 1000

Nota. Autores, 2022.

En 3 propiedades no se cumplió con los valores exigidos: presencia de fosfatos, pH y conductividad. En cuanto al pH, los valores obtenidos estuvieron muy cerca de 6, por lo que a pesar de cumplir el mínimo exigido (6,5), se pueden considerar como valores aceptables de consumo. Esta situación se presentó para las 3 muestras estudiadas.

La única propiedad donde hubo una divergencia en los resultados fue en el color aparente, ya que solo la muestra de agua del tejado metálico cumplió con el valor máximo exigido por el RAS, las otras dos muestras estuvieron por encima de este valor, pero en una diferencia muy baja.

De forma general, los resultados microbiológicos y físico-químicos obtenidos en las 3 muestras de agua lluvia, permiten establecer que estas son aptas para consumo humano, sin embargo, se hace necesario efectuar mecanismo de filtrado más sofisticados que permitan cumplir con todos los criterios exigidos por el RAS, y de esta forma garantizar un consumo confiable del agua lluvia.

Conclusiones

El desarrollo de esta monografía permitió concluir lo siguiente:

Los distintos factores que han tenido repercusiones en el suministro de agua potable están ligados principalmente a la disminución de los caudales de las fuentes hídricas a causa del cambio climático, el derretimiento de los glaciares, la reducción de las áreas de páramos, así como la alta demanda generada por las actividades humanas, especialmente la industria y la agricultura, a lo que se suma el vertiginoso crecimiento poblacional. Todo este conjunto de factores ha provocado desequilibrios en el ciclo hidrológico, lo cual se ha convertido en un problema a escala global.

Los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias han sido desarrollados principalmente en zonas con escasas de aguas superficiales. Los sistemas de aguas lluvias se conforman esencialmente de un área de captación, tanques de almacenamiento, canales y obras complementarias. Su principal función es la de proveer el agua necesaria para satisfacer las distintas necesidades básicas.

Actualmente en Colombia, y a nivel internacional, existe una normatividad que busca reglamentar y exigir el uso de sistemas de aprovechamiento del agua lluvia, sin embargo, las deficiencias de control estatal y el desconocimiento de estas normas, han conllevado a que sean

pocas las aplicaciones de este tipo de sistemas en viviendas y edificios, por lo que los pocos sistemas de aprovechamiento del agua lluvia que se encuentran activos en el país son diseñados y construidos con técnicas empíricas o artesanales donde no se logra garantizar una calidad adecuada del agua, algo fundamental para determinar sus distintos usos.

Los sistemas de tratamiento de las aguas pluviales se dividen principalmente en técnicas o tratamientos físicos, químicos y biológicos, siendo los dos primeros los más comunes e implementados. Los filtros son los dispositivos más empleados para el tratamiento del agua lluvia, siendo una combinación de técnicas físico-químicas, encontrándose en la actualidad dispositivos altamente sofisticados tecnológicamente, así como una gran diversidad de filtros construidos artesanalmente. Con la aplicación de los sistemas de tratamiento, se busca dar uso al agua lluvia para cubrir necesidades esenciales, desde el consumo directo, hasta su uso en lavados, sanitarios, y generalmente para el riego de cultivos.

Se concluye con este trabajo que el aprovechamiento de las aguas lluvias es una alternativa viable, y que su implementación al igual que los demás sistemas de tratamiento del agua en general, está sujeta a diversas variables y factores, pero en términos generales representa grandes ventajas para el medio ambiente y el desarrollo sostenible.

Referencias

- Arboleda, N. (2016). Evaluación de alternativas tecnológicas para el tratamiento básico del agua lluvia de uso doméstico en el consejo comunitario de la comunidad negra de los lagos, Buenaventura. *Scientia et Technica*, 21(3), 278-285.
- Ávila, L., & Ramírez, L. (2015). *Diseño hidráulico de un sistema de recolección y recirculación de aguas lluvias para uso sanitario en el Colegio Lausana ubicado en la ciudad de Bogotá D.C.* Trabajo de pregrado, Universidad de La Salle, Bogotá D.C., Colombia.
- Ballén, J., Galarza, M., & Órtiz, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. *VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Água Joao Pessoa (Brasil)*, 5 a 7 de Junio de 2006. Joao Pessoa, Brasil.
- Barreto, J., Gualteros, J., & Vargas, E. (2018). *Diseño de sistema de captación de aguas lluvias para el abastecimiento total de la finca agroturística mesopotamia finca hotel ubicada en la vereda Caney Bajo en el km 14 vía Villavicencia - Cumaral.* Trabajo de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Colombia.
- Bautista, E. (2020). *Diseño de la instalación de un modulo filtrante de aguas lluvias utilizando guadua, gravas, arenas y carbón activo en viviendas rurales de Cunda y Tolima.* Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- BBC. (13 de Enero de 2019). *El rápido derretimiento de los glaciares de los Andes.* Obtenido de BBC NEWS:
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/01/130123_glaciares_andes_derretimiento_estudio_aw

- Borja, S. (2019). El crecimiento de la población y la escases hídrica. *Congreso Nacional del Agua 2019: innovación y sostenibilidad*, 509-519.
- Castañeda, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Calda, Antioquía. *Revista Gestión y Ambiente*, 13(2), 25-40.
- CIRIA. (2015). *The Suds Manual*.
- Clavijo, D., & Silva, J. (2018). *Sistema para el aprovechamiento de agua lluvia en edificios de mínimo seis niveles en la ciudad de Bogotá D.C.* Trabajo de especialización, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia.
- Correa, A. (2014). *Diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de ahorro de agua potable en la Universidad Libre de Colombia, Sede Bosque Popular, Bloque P y cafetería.* Trabajo de pregrado, Universidad Libre de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Correa, G. (2019). *Importancia de incluir las aguas lluvias como abastecimiento de redes hidrosanitarias, en las normas y documentos de estudio y diseño del país.* Ensayo, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquía, Medellín, Colombia.
- Dávila, S. (28 de Octubre de 2021). *Actividades humanas y el agua.* Obtenido de Universidad Veracruzana: <https://www.uv.mx/cienciauv/blog/lasactividadeshumanasyelagua/>
- Estupiñan, J., & Zapata, H. (2010). *Requerimientos de Infraestructura para el aprovechamiento sostenible del agua lluvia en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá.* Trabajo de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia.

- Fandiño, L., & Ospina, K. (2020). *Sistema de tratamiento de agua de lluvia para consumo humano en una institución educativa rural de Girardot, Cundinamarca*. Trabajo de pregrado, Universidad Piloto de Colombia, Girardot, Colombia.
- Giraldo, F. (2016). *Diseño y construcción de un sistema recolector de aguas lluvias para el módulo ecosostenible de la Fundación Kyrios (Centro de Restauración)*. Trabajo de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- Guarin, L. (2020). *Diseño y evaluación de un sistema piloto compacto de tratamiento de aguas pluviales para zonas rurales y urbanas en Barrancabermeja, Santander*. Trabajo de grado, Unidades Tecnológicas de Santander, Barrancabermeja, Colombia.
- Guerra, L. (2019). *Metodología para la reutilización de aguas lluvias y grises en edificaciones*. Trabajo de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Humma.com.ar. (2019). *Sistemas de Purificación de agua*. Obtenido de <https://humma.com.ar/como-funciona-el-carbon-activado/>
- IDEAM.. (2018). *Estudio Nacional del Agua*. Informe - Publicación, Minambiente, Bogotá D.C., Colombia.
- IICA. (1998). *Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe*. Manual Técnico, Agencia de Cooperación Técnica IICA - México, Ciudad de México, México.
- Ley 48. (2017). *Proyecto de Ley 48 de 2017 SENADO*. Ley, Congreso de la República de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.

- Mejía, M. (2005). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras*. Trabajo de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.
- Montealegre, J. (2012). *Análisis de la variabilidad climática inter-anual (El Niño y La Niña) en la Región Capital, Bogotá Cundinamarca*. Plan Regional Integral de Cambio Climático, Bogotá, D.C., Colombia.
- Montero, J. (2016). *Estado del arte de los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa en el ahorro de agua potable en viviendas*. Trabajo de pregrado, Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C., Colombia.
- Naciones Unidas. (4 de Noviembre de 2021). *Naciones Unidas. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano*. Obtenido de un.org: <https://www.un.org/es/global-issues/population>
- Noreña, A. (2009). *Sistema de tratamiento de aguas lluvias para comunidades de desplazados en situación de emergencia caso Villa Clarín - Magdalena*. Trabajo de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia.
- Ochoa, R., Padilla, R., & Sánchez, O. (2003). *Aprovechamiento del agua lluvia como fuente de abastecimiento de agua potable para el canton "El progreso", Departamento de la Libertad*. Trabajo de pregrado, Universidad de El Salvador, Ciudad Universitaria, El Salvador.
- Pacheco, M. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de "Lluviatl en México". *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*(3), 39-157.

- Pino, E. (2020). *Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable*. Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- Poveda, G. (2015). *Estudio del ciclo del agua, ecología y cambio climático*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Red Alfa TECSPAR. (2020). *Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas*. Publicación, Red Alfa Tecspar, Antioquía, España.
- Reyes, M., & Rubio, J. (2014). *Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias*. Trabajo de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Rojas, L. (2020). *Sistemas de captación y aprovechamiento de agua lluvia en actividades industriales*. Trabajo de pregrado, Universidad Santo Tomás, Villavicencio, Colombia.
- Solano, C., et al. (2017). Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico, Isla Jambelí, Cantón Santa Rosa. *CUMBRES*, 3(1), 151-159.
- Suárez, A., & Salinas, A. (2018). *Potabilización de agua de lluvia, Alternativa en el trópico seco*. AGUA 2018 Agua, Justicia Ambiental y Paz. Cali, Noviembre 13 al 16, Cali, Colombia.
- Suárez, et al. (2015). Evaluación de un sistema de filtros de cascarilla de arroz y luffa cylindrica para el tratamiento de aguas lluvias. *Mutis*, 5(1).
- Torres, R. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125-139.