

|   |   |                     |                   |          |
|---|---|---------------------|-------------------|----------|
|  | <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b> |                     |                   |          |
|   | Documento   | Código              | Fecha             | Revisión |
|   | <b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>  | <b>F-AC-DBL-007</b> | <b>08-07-2021</b> | <b>B</b> |
| Dependencia   | Aprobado  |                     | Pág.              |          |
| <b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>   | <b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>                          |                     | <b>i(61)</b>      |          |

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

|   |  |                  |           |
|---|--|------------------|-----------|
| <b>AUTORES</b>  | Yesica Paola Vergara Insignares<br>Yesica Alejandra Avendaño Arengas   |                  |           |
| <b>FACULTAD</b>   | <b>Ingenierías</b>   |                  |           |
| <b>PLAN DE ESTUDIOS</b>   | <b>Ingeniería Civil</b>  |                  |           |
| <b>DIRECTOR</b>   | Agustín Armando Macgregor Torrado  |                  |           |
| <b>TÍTULO DE LA TESIS</b>   | Estado del arte: “Efectos del cambio climático en los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia, y las alternativas para la optimización de los sistemas existentes” |                  |           |
| <b>TITULO EN INGLES</b>   | State of the art: “Effects of climate change on wáter collectioin and purification systems in Colombia, and alternatives for optimizing existing systems”                              |                  |           |
| <b>RESUMEN</b><br>(70 palabras)   |  |                  |           |
| <p>Monografía de compilación referente a los efectos que actualmente se evidencia a raíz del cambio climático y que han afectado directamente los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia.</p> <p>Con el desarrollo de esta monografía se logra la difusión de las distintas alternativas que se han propuesto para optimizar los sistemas de captación y potabilización, acorde a las nuevas condiciones medioambientales.</p> |  |                  |           |
| <b>RESUMEN EN INGLES</b>  |  |                  |           |
| <p>Compilation monograph referring to the effects that are currently evident as a result of climate change and that have directly affected the catchment and purification systems of water in Colombia.</p> <p>With the development of this monograph, the diffusion of the different alternatives that have been proposed to optimize the catchment and purification systems, according to the new environmental conditions, is achieved.</p>      |  |                  |           |
| <b>PALABRAS CLAVES</b>  | Cambio climático, sistemas de captación, sistemas de potabilización, optimización, y agua.   |                  |           |
| <b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>  | Climate change, catchment systems, purification systems, optimization, and wáter.  |                  |           |
| <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |  |                  |           |
| PÁGINAS: 61   | PLANOS: 0  | ILUSTRACIONES: 0 | CD-ROM: 1 |



ESTADO DEL ARTE: “EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS SISTEMAS DE  
CAPTACIÓN Y POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN COLOMBIA, Y LAS ALTERNATIVAS  
PROPUESTAS PARA OPTIMIZAR LOS SISTEMAS EXISTENTES”

Autores

YESICA PAOLA VERGARA INSIGNARES

YESICA ALEJANDRA AVENDAÑO ARENGAS

Trabajo de grado modalidad monografía para optar el título de Ingeniero Civil

Director

Esp. AGUSTÍN ARMANDO MACGREGOR TORRADO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Agosto, 2021

## Agradecimientos

Los autores de esta monografía expresan su cordial agradecimiento al Esp. Agustín Armando Macgregor Torrado, por la dirección del trabajo, su apoyo y colaboración permanente durante toda la investigación.

Así mismo agradecen a todas aquellas personas que de una u otra manera aportaron en este trabajo: amigos, compañeros y docentes, así como aquellos profesionales que brindaron su ayuda, especialmente al Ing. Luis Miguel Duarte Vergara por su acompañamiento y colaboración en todas las etapas del proyecto.

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

*Yesica Paola Vergara Insignares*

*Yesica Alejandra Avendaño Arengas*

## Tabla de contenido

|  |     |
|--|-----|
| Introducción.....  | xii |
| Capítulo 1. Características de los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia.....  | 1   |
| 1.1    Sistemas de captación y potabilización del agua .....   | 2   |
| 1.1.1 Fuente. ....   | 3   |
| 1.1.2 Captación.....   | 4   |
| 1.1.3 Aducción.....  | 5   |
| 1.1.4 Tratamiento o potabilización.....  | 6   |
| 1.1.5 Líneas de conducción. ....   | 7   |
| 1.1.6 Tanque de almacenamiento. ....   | 8   |
| 1.1.7 Red de distribución.....   | 9   |
| 1.1.8 Acometidas domiciliarias .....   | 10  |
| 1.1.9 Micromedidor.....  | 10  |
| Capítulo 2. Variaciones registradas en Colombia en el régimen de precipitaciones y en el caudal de las fuentes hídricas relacionadas con el cambio climático ..... | 12  |
| 2.1 Precipitaciones.....   | 12  |
| 2.2 Caudales. ....   | 17  |
| Capítulo 3. Efectos identificados del cambio climático sobre los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia.....                                  | 21  |
| 3.1 Eventos naturales asociados al cambio climático.....   | 22  |
| 3.1.1 Sequías.....   | 24  |
| 3.1.2 Movimientos en masa.....   | 25  |

|  |    |
|--|----|
| 3.1.3 Inundaciones y avalanchas. ....  | 27 |
| Capítulo 4. Alternativas propuestas para la optimización de los sistemas de captación y potabilización en Colombia ..... | 29 |
| 4.1 Utilización de aguas lluvias.....  | 30 |
| 4.2 Reforestación de las cuencas hidrográficas.....  | 33 |
| 4.3 Reutilización de las aguas residuales .....  | 35 |
| Conclusiones.....  | 38 |
| Referencias .....  | 40 |

## Lista de figuras

- Figura 1. Sistema de abastecimiento de agua en la Antigua Roma. Abc.es, 2021. Obtenido en: [https://www.abc.es/viajar/top/20140115/abci-acueductos-romanos-201401071106\\_1.html...](https://www.abc.es/viajar/top/20140115/abci-acueductos-romanos-201401071106_1.html...) 2
- Figura 2. Vista del Rio Algodonal, ubicado en Norte de Santander. La Opinión.com, 2021. Obtenido en: <https://www.laopinion.com.co/ocana/socializan-plan-de-ordenacion-y-manejo-de-la-cuenca-del-rio-algodonal> ..... 3
- Figura 3. Vista aérea de una bocatoma convencional. Valledelcauca.gov.co, 2021. Obtenido en: <https://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones/63155/acuavalle-rechaza-proyecto-de-explotacion-minera-en-el-rio-bugalagrande/> ..... 5
- Figura 4. Vista aérea línea de aducción de agua. Slideshare.net, 2021. Obtenido en: <https://www.slideshare.net/fernandoemiliomoralesvera/6-linea-de-conduccion>..... 6
- Figura 5. Vista aérea planta de tratamiento de agua potable Tibitoc, la cual hace parte del acueducto de Bogotá D.C. Bogotá.gov.co, 2021. Obtenido en: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/gestion-publica/operacion-de-la-planta-de-tratamiento-de-agua-tibitoc-fue-asumida-por>. 7
- Figura 6. Línea de conducción del agua potable. Semanariopuntoyaparte.com, 2021. Obtenido en: <http://semanariopuntoyaparte.com/suministro-parcial-de-agua-potable-en-nueva-colonia-hindu/> ..... 8
- Figura 7. Vista aérea tanque de almacenamiento de agua potable. Envigadoteinforma.gov.co, 2021. Obtenido en: <https://www.envigadoteinforma.gov.co/los-habitantes-de-el-vallano-viven-mejor-gracias-nuevo-tanque-de-acueducto/> ..... 9
- Figura 8. Acometidas domiciliarias. Grupocobra.com, 2021. Obtenido en: <https://www.grupocobra.com/proyecto/ejecucion-renovacion-acometidas-agua-vallecas/>..... 10

|  |    |
|--|----|
| Figura 9. Micromedidor de agua potable. Agua.org.mx, 2021. Obtenido en:<br><a href="https://agua.org.mx/frio-en-nogales-congela-el-agua-de-las-tuberias-sdp/">https://agua.org.mx/frio-en-nogales-congela-el-agua-de-las-tuberias-sdp/</a> .....   | 11 |
| Figura 10. Mapa de precipitación anual característico de Colombia en los últimos 30 años.<br>IDEAM & ANUAL, 2018. La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia. p. 26.<br>.....   | 14 |
| Figura 11. Mapa del aumento de la intensidad de las lluvias en Colombia. IDEAM &<br>ANUAL, 2018. La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia. p. 39. ....  | 16 |
| <i>Figura 12. Gráfico de la disminución del área de masa glaciar de Colombia en los últimos<br/>50 años. IDEAM., 2018. Estudio Nacional del Agua, p. 95. ....</i>  | 19 |
| Figura 13. Cambio registrado en la masa glaciar del nevado de Santa Isabel en los últimos<br>10 años. IDEAM., 2018. Estudio Nacional del Agua, p. 96. ....   | 20 |
| Figura 14. Gráfico de eventos naturales con afectaciones sobre los sistemas de captación y<br>potabilización del agua en Colombia. Supersevicios, 2020. Estudio sectorial de los servicios<br>públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado 2014-2017, p. 76.....   | 23 |
| Figura 15. Cauce del río Magdalena durante la sequía del año 2015. Vanguardia, 2016.<br>Obtenido en: <a href="https://www.vanguardia.com/colombia/sigue-la-alerta-roja-por-sequia-en-el-rio-magdalena-LEVL344593">https://www.vanguardia.com/colombia/sigue-la-alerta-roja-por-sequia-en-el-rio-magdalena-LEVL344593</a> .....                       | 24 |
| Figura 16. Cauce del río Cali durante temporadas de sequía. Elpais.com, 2018. Obtenido<br>en: <a href="https://www.elpais.com.co/cali/intenso-calor-tiene-el-nivel-de-los-rios-de-por-la-mitad-de-lo-habitual.html">https://www.elpais.com.co/cali/intenso-calor-tiene-el-nivel-de-los-rios-de-por-la-mitad-de-lo-habitual.html</a> . ....           | 25 |
| Figura 17. Movimientos en masa en la bocatoma del municipio de Puerto Asis, Putumayo.<br>Diarioutopia, 2021. Obtenido en: <a href="http://www.diarioutopia.com/los-antiguos-bocatoma-destruida-por-la-creciente-del-rio-los-antiguos/">http://www.diarioutopia.com/los-antiguos-bocatoma-destruida-por-la-creciente-del-rio-los-antiguos/</a> . .... | 26 |

|  |    |
|--|----|
| <p><i>Figura 18.</i> Gráfico del número de movimientos en masa por departamento en la última década. Supersevicios, 2020. <i>Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado 2014-2017</i>, p. 78. ....</p>  | 27 |
| <p><i>Figura 19.</i> Sistemas de captación afectada por avalancha en Palmira, Valle del Cauca. 90minutos, 2021. Obtenido en: <a href="https://90minutos.co/creciente-rio-nima-provoco-avalancha-palmira-21-03-2017/">https://90minutos.co/creciente-rio-nima-provoco-avalancha-palmira-21-03-2017/</a>. ....</p>   | 28 |
| <p><i>Figura 20.</i> Gráfico del número de movimientos en masa por departamento en la última década. Supersevicios, 2020. <i>Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado 2014-2017</i>, p. 78. ....</p>  | 28 |
| <p><i>Figura 21.</i> Sistema de aprovechamiento del agua lluvia. Cuevadelcivil.com, 2021. Obtenido en: <a href="https://www.cuevadelcivil.com/2010/12/captacion-de-agua-pluvial.html">https://www.cuevadelcivil.com/2010/12/captacion-de-agua-pluvial.html</a> .....</p>   | 30 |
| <p><i>Figura 22.</i> Edificio Sede Bancolombia en la ciudad de Medellín. Larepublica.com, 2021. Obtenido en: <a href="https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/el-edificio-de-bancolombia-en-medellin-recibio-la-certificacion-ambiental-leed-2000905">https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/el-edificio-de-bancolombia-en-medellin-recibio-la-certificacion-ambiental-leed-2000905</a>. ....</p>             | 31 |
| <p><i>Figura 23.</i> Edificio de la Facultad de Posgrados de la Universidad Nacional de Colombia. Solus4.com, 2021. Obtenido en: <a href="http://www.solus4.com/portfolio/institutional/post-graduate-social-studies-building-universidad-nacional-de-colombia-bogota-colombia">http://www.solus4.com/portfolio/institutional/post-graduate-social-studies-building-universidad-nacional-de-colombia-bogota-colombia</a> .....</p> | 32 |
| <p><i>Figura 24.</i> Zona boscosa deforestada. Pulzo.com, 2021. Obtenido en: <a href="https://www.pulzo.com/nacion/deforestacion-crece-colombia-PP300295">https://www.pulzo.com/nacion/deforestacion-crece-colombia-PP300295</a> .....</p>   | 33 |
| <p><i>Figura 25.</i> Jornadas de reforestación promovidas por empresas privadas. EPM, 2021. Obtenido en: <a href="https://www.las2orillas.co/empresas-privadas-se-la-juegan-por-la-reforestacion-en-colombia/">https://www.las2orillas.co/empresas-privadas-se-la-juegan-por-la-reforestacion-en-colombia/</a>.....</p>  | 34 |

Figura 26. Vista aérea de una planta de tratamiento de aguas residuales. Iagua.co, 2021.

Obtenido en: <https://www.iagua.es/blogs/rossemer-saldana-escorcia/vision-tratamiento-aguas-residuales>..... 36

Figura 27. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Modular para uso en edificaciones.

Obtenido en: <https://ar.pinterest.com/pin/603975000005640279/>. .... 36

## Introducción

En las últimas décadas se ha comprobado la asociación directa que existe entre las actividades humanas y los fenómenos ambientales derivados del cambio climático. Una de las consecuencias principales asociadas al cambio climático, es la alteración de los patrones que durante siglos caracterizaron el régimen de precipitaciones, así como el aceleramiento en la disminución de los recursos hídricos, el descongelamiento de los glaciares, el incremento de enfermedades tropicales, el aumento en el nivel del mar, y la continua ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos (Rodríguez, Jiménez, & Pedraza, 2019; UN Voluntarios, 2018).

Colombia es uno de los países donde mayor efecto ha tenido el cambio climático, los recursos hídricos se han visto afectados por la deforestación, la transformación de los páramos en zonas de cultivos agrícolas, contaminación de los ríos, cuencas y lagos, y el mal procesamiento de desechos industriales. En los últimos años se han visto afectados los patrones de precipitación característicos en el país: invierno – verano, lo que ha conllevado a una continua presentación de altas precipitaciones, sequías frecuentes y fluctuaciones de temperatura, que han generado importantes variaciones en los caudales de ríos y embalses, las cuales constituyen las principales fuentes hídricas de suministro para el agua potable (Montero, 2016; Correa, 2014).

Esta situación ha producido efectos directos sobre los sistemas de captación y potabilización del agua distribuidos en todo el territorio nacional, afectando de esta manera el suministro del agua potable para millones de colombianos. Dado que estos sistemas son

diseñados y construidos con el fin de satisfacer determinada demanda de agua, con las continuas variaciones del caudal de ríos y embalses, se ven sometidos a condiciones extremas durante su funcionamiento, que ocasionan afectaciones en cuanto a su infraestructura y abastecimiento de agua para su posterior tratamiento, entre otros aspectos (Montero, 2016; López & Jiménez, 2016).

Por lo anterior, se hizo necesario llevar a cabo una recopilación de la información disponible referente a este tema, que permitiera sintetizar las afectaciones producidas por el cambio climático sobre los sistemas de captación y potabilización del agua, con el fin de establecer el grado de afectación producido, y las alternativas que hasta la fecha se han propuesto para mitigar esta situación.

La importancia de este trabajo radica en considerar la vinculación existente entre los cambios climáticos con los sistemas de captación y potabilización del agua, ya que estos representan las estructuras y equipos que son empleados para abastecer de agua a una población, de forma continua, de tal manera que se garantice un suministro con la calidad y la cantidad suficiente para brindar un servicio adecuado a los usuarios (AVINA, 2012; Jiménez, 2012).

La necesidad de identificar oportunamente los efectos que el cambio climático está ocasionando sobre los sistemas de captación y potabilización del agua, está encaminada a contrarrestar tanto los impactos ambientales como económicos que repercuten negativamente sobre todo el sistema de recolección de agua, y que ocasionan por lo tanto un desabastecimiento

para las poblaciones, por tal razón, esta monografía plasma los efectos que el cambio climático ha ocasionado sobre estos sistemas, para facilitar la determinación de soluciones oportunas, así como ilustrar las propuestas que en diversos lugares del país se han planteado con el fin de optimizar la captación y potabilización del agua para uso potable.

El desarrollo de la monografía tuvo una duración aproximada de 16 semanas. Para su elaboración fue necesario aplicar una metodología denominada como vigilancia tecnológica, la cual incluyó un proceso de búsqueda sistemática y selectiva, para la recopilación, análisis y difusión de la información objeto de estudio.

La monografía comprendió la ejecución de cuatro etapas. La primera etapa consistió en la revisión de la información bibliográfica referente al tema de estudio. La segunda en el análisis y selección de la información disponible. En la tercera etapa se realizó la recopilación de la información relevante, y por último, en la cuarta etapa se desarrollaron los capítulos planteados.

Los objetivos específicos desarrollados en el trabajo fueron:

- Describir las características de los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia.

- Detallar las variaciones registradas en Colombia en el régimen de precipitaciones y en el caudal de las fuentes hídricas relacionadas con el cambio climático.
- Ilustrar los efectos identificados del cambio climático sobre los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia.
- Exponer las alternativas propuestas para la optimización de los sistemas de captación y potabilización en Colombia.

## **Capítulo 1. Características de los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia**

El agua es considerada el elemento fundamental para la vida en la tierra, y es requerido por la mayor parte de los organismos vivos. Se estima que del agua existente en el planeta, cerca del 97,5% se encuentra en mares y océanos, pero al ser salada no está disponible para consumo directo. El restante 2,5% corresponde al agua dulce, sin embargo, la mayor parte se encuentra en glaciares, cumbres nevadas, acuíferos subterráneos y el permafrost. Solo un porcentaje menor al 1% del agua dulce conforma las denominadas aguas superficiales, las cuales se encuentran en lagos, humedales y ríos (Montero, 2016).

Desde la Antigüedad, con el establecimiento de las primeras civilizaciones, se acrecentó la necesidad del abastecimiento de agua continuamente. El crecimiento demográfico trajo consigo todo tipo de problemas, entre ellos, el de garantizar la disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades humanas. Esto conllevó a que se desarrollaran mecanismos para captar el agua y transportarla a los asentamientos donde fuera requerida. En la actualidad se conservan restos de la infraestructura de la Antigua Roma construida con el fin de facilitar el suministro de agua, como se observa en la figura 1 (Red ALFA TECSPAR, 2015).



*Figura 1.* Sistema de abastecimiento de agua en la Antigua Roma. Abc.es, 2021. Obtenido en: [https://www.abc.es/viajar/top/20140115/abci-acueductos-romanos-201401071106\\_1.html](https://www.abc.es/viajar/top/20140115/abci-acueductos-romanos-201401071106_1.html)

Como en el caso de la Antigua Roma, fueron muchas las civilizaciones que emplearon diversas técnicas y mecanismos para asegurar el agua para sus culturas. Con el tiempo, y gracias a los desarrollos tecnológicos para la construcción, se fueron modificando los sistemas de suministro del agua, en el presente capítulo se plasman las características de los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia.

### **1.1 Sistemas de captación y potabilización del agua**

El sistema para abastecer de agua a una población determinada, se define como el conjunto de infraestructuras, instalaciones y equipos empleados para garantizar el servicio de agua potable de forma continua, con la calidad y cantidad suficientes. De acuerdo a la Ley 142 de 1994 numeral 14.22, el suministro de agua debe ser manejado de forma municipal, y su cobertura debe abarcar a todas las poblaciones. Sin embargo, a pesar de que la ley considera una cobertura completa, existen poblaciones dentro de los municipios que no pueden ser abarcados por un solo

sistema de suministro, por lo cual, en muchos corregimientos y veredas se construyen sistemas independientes (AVINA, 2012; Ley 142, 1992).

Aunque pueden considerarse otros elementos, en el esquema general del sistema de abastecimiento de agua se consideran los siguientes elementos principales:

### **1.1.1 Fuente.**

La fuente es el depósito de agua, generalmente superficial: río, lago, quebrada,..., desde el que se toma el agua para suministrar a una población. La característica principal para escoger una fuente, es que está sea permanente a lo largo de todo el año, y brinde el caudal demandado para satisfacer a los usuarios. En la figura 2 se observa el caudal del río Algodonal, el cual es la fuente principal de suministro de agua en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander. Este es un ejemplo de una fuente de agua (Ligardo, 2019).



*Figura 2.* Vista del Rio Algodonal, ubicado en Norte de Santander. La Opinión.com, 2021.  
Obtenido en: <https://www.laopinion.com.co/ocana/socializan-plan-de-ordenacion-y-manejo-de-la-cuenca-del-rio-algodonal>

Es de resaltar que en Colombia es común en muchos sistemas de suministro de agua, el emplear agua de tipo subterráneo, para lo cual utilizan equipos como motobombas que se encargan de transportar el agua hasta el punto de tratamiento, sin embargo, dado que las aguas de tipo superficial son las más afectadas por los cambios climáticos, y porque son las que representan el mayor porcentaje de suministro del agua potable en Colombia, al satisfacer más del 95% de la demanda de agua, se centra el presente trabajo en los sistemas de este tipo (Ministerio de Salud de Colombia, 2018; Díaz, 2014).

Según cifras del Ministerio de Salud, para el año 2018 en Colombia se captaba agua en 3031 quebradas, 449 ríos, 621 nacimientos o manantiales, 187 pozos subterráneos, 45 embalses, y 39 lagos o ciénagas (Ministerio de Salud de Colombia, 2018). De esta manera se observa que en Colombia el suministro de agua está condicionada al agua superficial.

### **1.1.2 Captación.**

La captación es definida como el conjunto de obras o la infraestructura empleada para obtener o captar el agua de la fuente de abastecimiento. La estructura básica de captación de agua en ríos y quebradas es la bocatoma. Estas son diseñadas de acuerdo a las dimensiones de la fuente de agua, y basados en el denominado Caudal de Captación, que se define como el caudal máximo que la obra puede admitir o captar. (López & Jiménez, 2016).

Se distinguen diferentes tipos de bocatoma: de toma directa, de toma mixta o convencional, de toma móvil, y los de toma tirolesa o caucasiana. Los de toma directa son aquellos que captan el agua mediante un canal lateral, los de toma mixta o convencional son los que captan el agua mediante el cierre del río con una estructura llamada azud o presa de derivación, la cual puede ser fija o móvil según el material que se empleé. Los de toma móvil, son aquellos que utilizan barrajes o barras colectoras, los cuales son nivelados dependiendo de las épocas de sequía y de invierno, por último, los de toma tirolesa o caucasiana, son aquellos cuyos canales de captación se encuentran dentro de la sección del azud o presa de derivación. En la figura 3 se observa una bocatoma convencional (Ortiz & Velandia, 2017).



*Figura 3.* Vista aérea de una bocatoma convencional. Valledelcauca.gov.co, 2021. Obtenido en: <https://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones/63155/acuavalle-rechaza-proyecto-de-explotacion-minera-en-el-rio-bugalagrande/>

### **1.1.3 Aducción.**

Este componente tiene la función de transportar el agua cruda, tomada de la fuente de abastecimiento hasta el lugar de tratamiento o potabilización. La aducción consiste en canales o

tuberías que pueden ser de flujo libre o a presión, dependiendo de las condiciones topográficas de cada región o lugar. En la figura 4 se observa una línea de aducción de agua cruda (Raigoso & Hernández, 2018).



*Figura 4.* Vista aérea línea de aducción de agua. Slideshare.net, 2021. Obtenido en: <https://www.slideshare.net/fernandoemiliomoralesvera/6-linea-de-conduccion>

#### **1.1.4 Tratamiento o potabilización.**

El tratamiento o potabilización, hace referencia a todos los procesos de tipo físico, mecánico y químico, que hacen posible que el agua cumpla con las características requeridas para su consumo. Se suele considerar que toda planta potabilizadora debe lograr que el agua sea apta para consumo humano, estética o limpia, además de económica (Jiménez, 2012).

El tratamiento del agua, puede resumirse en varias fases, la primera consiste básicamente en adicionar sustancias químicas al agua cruda para generar inicialmente estados de coagulación al formar partículas coloidales de mayor tamaño, a medida que ocurre esta coagulación se genera la segunda fase, la floculación, que es la formación de flóculos o grumos que van aumentando su

volumen y peso, después sigue la fase de sedimentación, la cual conlleva a la precipitación de las partículas floculadas, en este punto, el agua se encuentra clarificada, sin embargo, aun presenta partículas pequeñas, por eso se continua con la fase de filtración, donde el agua pasa por sustratos filtrantes de antracita, arena y grava. El agua filtrada pasa a la fase de desinfección, para garantizar la eliminación de los organismos patógenos que pueden aun continuar en el agua. En la última fase se realiza el control de calidad del agua, para lo cual se realizan ensayos para medir el pH, la conductividad, turbiedad y caudal. En la figura 5 se observa la vista aérea de una planta de tratamiento de agua potable (Cure & Gómez, 2020).



*Figura 5.* Vista aérea planta de tratamiento de agua potable Tibitoc, la cual hace parte del acueducto de Bogotá D.C. Bogotá.gov.co, 2021. Obtenido en: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/gestion-publica/operacion-de-la-planta-de-tratamiento-de-agua-tibitoc-fue-asumida-por>

### **1.1.5 Líneas de conducción.**

Son el conjunto de tuberías, o una sola línea de tubos, en los cuales se instalan dispositivos de control, y que se encargan de transportar el agua a los tanques de almacenamiento. Estas

líneas pueden funcionar por gravedad, que es la forma usual por ser la más económica, o por bombeo. En la figura 6 se observa una línea de este tipo (Díaz, 2014).



*Figura 6.* Línea de conducción del agua potable. Semanariopuntoyaparte.com, 2021. Obtenido en: <http://semanariopuntoyaparte.com/suministro-parcial-de-agua-potable-en-nueva-colonia-hindu/>

### **1.1.6 Tanque de almacenamiento.**

Son tanques o estructuras construidas en los que se almacena el agua, y cuya finalidad es compensar las variaciones de demanda de agua que suelen presentarse durante el día, la cual varía a determinadas horas. En la figura 7 se observa un tanque de este tipo construido para garantizar el suministro constante de agua (Casero, 2008).



*Figura 7.* Vista aérea tanque de almacenamiento de agua potable. Envigadoteinforma.gov.co, 2021. Obtenido en: <https://www.envigadoteinforma.gov.co/los-habitantes-de-el-vallano-viven-mejor-gracias-nuevo-tanque-de-acueducto/>

### **1.1.7 Red de distribución.**

La red de distribución es el conjunto de tuberías y accesorios que permiten conducir el agua potable a todos los usuarios del sistema. Esta red suele dividirse en la denominada red primaria, y la red secundaria, la primera se caracteriza por tener diámetros de tuberías superiores a las 12 in, mientras que la segunda es la encargada de distribuir el agua a los barrios y urbanizaciones, y se presenta un diámetro que oscila generalmente entre las 3 y 10 in. La complejidad de la red de distribución depende del tamaño de la ciudad o población, de su topografía, y de la planificación previa durante su instalación (Berdonces, 2008).

### 1.1.8 Acometidas domiciliarias

Las acometidas domiciliarias consisten básicamente en el tramo de tubería que conduce el agua potable desde la red de distribución hasta el interior de las viviendas de los usuarios. Varían de acuerdo a los requerimientos de cada vivienda o edificación. En la figura 8 se observa un ejemplo de este tipo de acometidas.



*Figura 8.* Acometidas domiciliarias. Grupocobra.com, 2021. Obtenido en: <https://www.grupocobra.com/proyecto/ejecucion-renovacion-acometidas-agua-vallecas/>

### 1.1.9 Micromedidor.

Finalmente, el sistema de abastecimiento de agua se finaliza con el micromedidor, el cual se encarga de indicar el consumo de agua de cada hogar por separado. En el mercado existe una amplia variedad de micromedidores, sin embargo, su aspecto suele ser muy similar. En la figura 9 se observa un tipo de micromedidor (Díaz, 2014).



*Figura 9.* Micromedidor de agua potable. Agua.org.mx, 2021. Obtenido en: <https://agua.org.mx/frio-en-nogales-congela-el-agua-de-las-tuberias-sdp/>

Como se observó en el proceso descrito anteriormente, desde que el agua es captada de la fuente, hasta su entrega final en cada vivienda, debe pasar por una serie de estructuras, equipos y accesorios, cada uno de los cuales cumple una función específica dentro del sistema. La captación y potabilización pueden sintetizarse como una toma del agua, y como un procesamiento de la misma, respectivamente, por tanto, en los siguientes capítulos se indicara la relación que tienen estos procesos con los efectos surgidos a causa del cambio climático.

## **Capítulo 2. Variaciones registradas en Colombia en el régimen de precipitaciones y en el caudal de las fuentes hídricas relacionadas con el cambio climático**

En Colombia se dan anualmente períodos intercalados de invierno y verano, 2 períodos de cada tipo con una duración aproximada de 2 a 3 meses. Cierta período de tiempo, se presentan condiciones extremas de un tipo de estación, ya sea un invierno prolongado, denominado como el fenómeno de La Niña, o un verano extremo, en cuyo caso se denomina como fenómeno de El Niño. Estas condiciones extremas se ven maximizadas por el sistema montañoso que conforma el país, el cual recrudece los inviernos, con deslizamientos de tierra, desbordamiento de ríos y quebradas; y en el caso de los veranos, ocasiona reducciones drásticas de los caudales. En este capítulo se abordan las variaciones que han sido registradas en el régimen de precipitaciones de Colombia, y en el caudal de las fuentes hídricas, las cuales se han asociado al cambio climático (Hernández & Corredor, 2017).

### **2.1 Precipitaciones.**

Es de común aceptación que las precipitaciones se ajusten al denominado proceso de variabilidad hidrológica, el cual hace referencia a las tendencias y fluctuaciones que se presentan en el clima en diferentes escalas espaciales y temporales. Se puede resumir este proceso como un ciclo repetitivo el cual marca el retorno de ciertas condiciones climáticas que se reproducen cada período de tiempo (IDEAM., 2018).

En Colombia, se estima un ciclo que dura aproximadamente 2 años, y marca el retorno de condiciones extremas, ya sea de invierno o de sequía, y que se encuentra asociado principalmente a los efectos del denominado fenómeno macro climático de la Oscilación del Sur, El Niño o La Niña. El fenómeno de El Niño, se caracteriza por el aumento de la temperatura del agua y de las corrientes de aire del Pacífico Tropical, mientras que La Niña se manifiesta con efecto contrario, es decir, con una disminución de temperatura. Estos dos fenómenos no se limitan solo a Colombia, pues sus efectos se evidencian en diferentes regiones del planeta (IDEAM..., 2018; IDEAM & UNAL, 2018).

Los registros llevados a cabo por instituciones y diversos investigadores climatológicos, muestran que las precipitaciones anuales en Colombia no son homogéneas, pues varían por cada región geográfica, es así como se encuentran áreas con una precipitación inferior a los 500 mm anuales, mientras que en otras pueden superar los 11000 mm. Estas marcadas diferencias de precipitación se reflejan en la disponibilidad de recursos hídricos. En la figura 10 se observa un mapa de estimación anual de precipitación del país (Hurtado & Mesa, 2015).

Como se observa en la figura 10, las zonas más lluviosas corresponden a la zona costera del pacífico, donde predominan precipitaciones anuales superiores a los 4000 mm, seguidas de la región amazónica, con más de 3000 mm anuales. En el resto de regiones oscilan precipitaciones de entre los 1000 y los 3000 mm cada año, y son las áreas donde se encuentra asentada la mayor

parte de la población colombiana. El caso extremo se encuentra en la península de la Guajira donde la precipitación anual no supera los 500 mm.

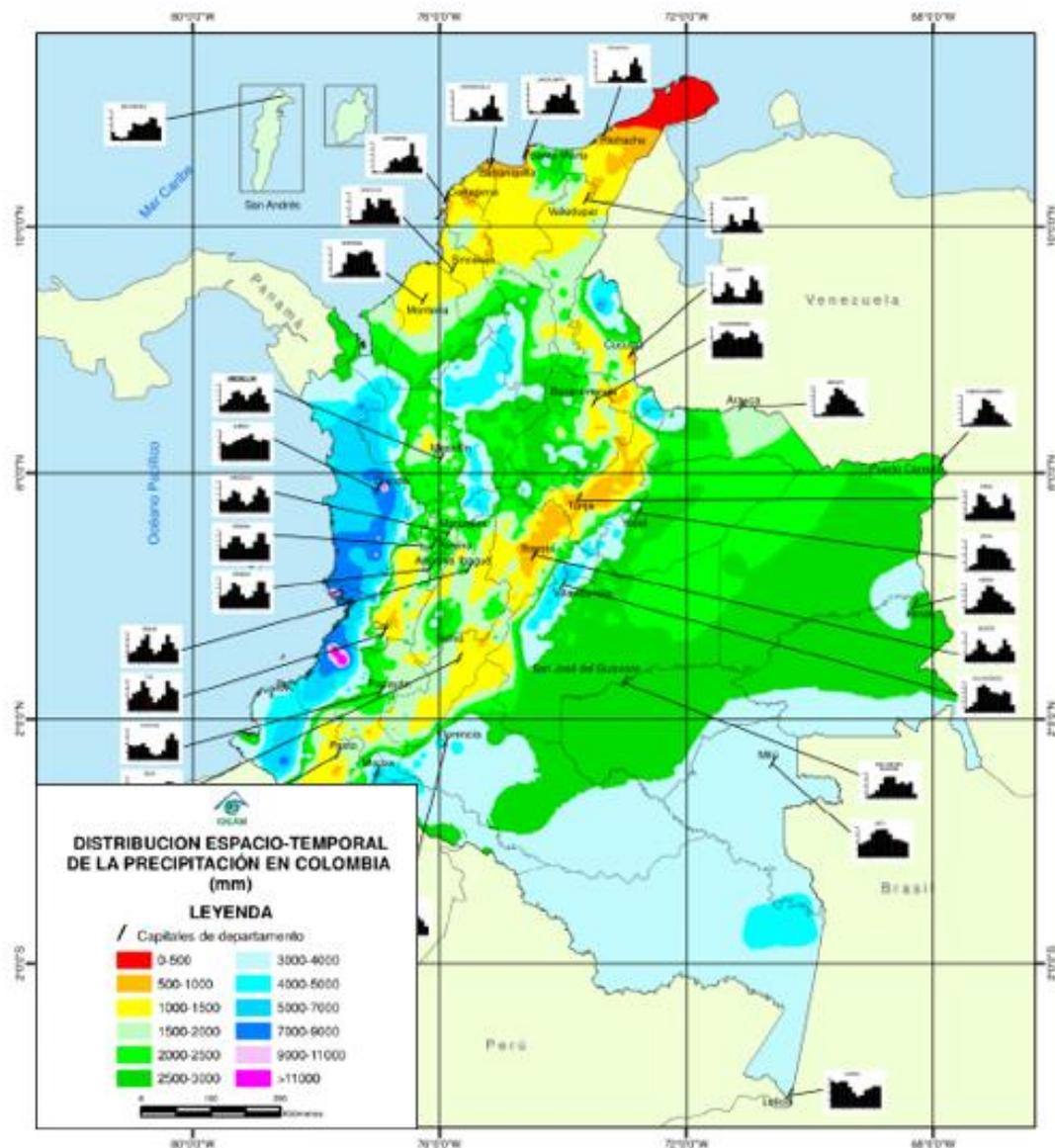


Figura 10. Mapa de precipitación anual característico de Colombia en los últimos 30 años. IDEAM & ANUAL, 2018. *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. p. 26.

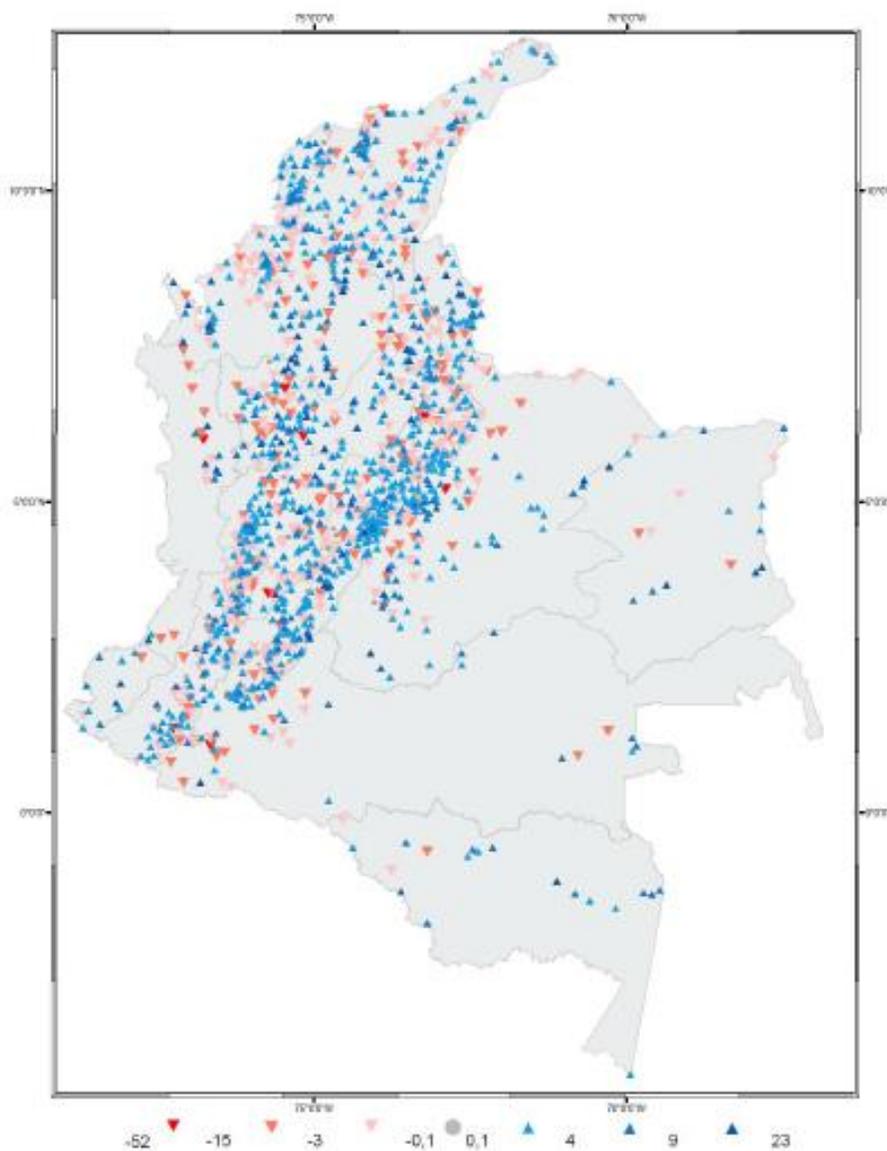
El anterior mapa corresponde al rango de precipitación registrado en los últimos 30 años, el rango promedio solo indica la cantidad de agua que suele precipitarse en una determinada región,

sin embargo, diversos investigadores han llegado a la conclusión, de que el efecto actual del cambio climático asociado con las precipitaciones, no se refleja en la cantidad de agua anual, pues esta puede permanecer en promedio en valores similares a los registrados con anterioridad, sino, en la intensidad con la cual caen o se precipitan esas mismas cantidades de agua, es decir, en el país se presenta un cambio en el régimen de lluvias, que ocasiona inviernos intensos, pero de corta duración, y veranos más largos y extremos. No obstante, y como se verá más adelante, existen regiones del país donde existe una clara prevalencia a disminuir el promedio de lluvias anuales, independientemente de su intensidad (Jaramillo & Chaves, 2000).

En un estudio llevado a cabo en el año 2011, por Mayorga, Hurtado y Benavides, con el acompañamiento del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se analizaron los registros pluviométricos mensuales comprendidos entre 1970 y 2010, de más de 310 estaciones pluviométricas ubicadas en todo el territorio colombiano. Con dicho estudio, comprobaron que más del 71% de las estaciones registra un aumento de la intensidad de las lluvias, un 7% registraron valores constantes, mientras que un 22% indicaron una tendencia decreciente de la intensidad de las lluvias. En el mapa de la figura 11 se observa el mapa publicado durante esta investigación (IDEAM & UNAL, 2018).

En el mapa de la figura 11, se observa que un gran número de áreas registra precipitaciones que se manifiestan como lluvias torrenciales. Esto indica que en un número reducido de aguaceros o de lluvia impetuosa, se puede estar alcanzando el promedio anual de precipitación. Este efecto, relacionado con el cambio climático, ocasiona una saturación de los sistemas de

evacuación y transporte de aguas pluviales, conllevando por tanto a inundaciones en calles y viviendas residenciales, además de afectar gravemente zonas comerciales.



*Figura 11.* Mapa del aumento de la intensidad de las lluvias en Colombia. IDEAM & ANUAL, 2018. *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia.* p. 39.

*Nota:* Los triángulos de color azul representan los puntos donde se registran aumentos de intensidad, y los rojos el efecto contrario.

Sin embargo, en el mapa anterior también se observa que existen numerosos registros que evidencian una disminución de la intensidad de las lluvias, reducción asociada con los procesos de deforestación, pues anteriormente correspondían a zonas boscosas o selváticas de constante precipitación (Hurtado & Mesa, 2015).

Con estos estudios, se constató que en el país existen zonas donde se mantuvo el promedio de precipitación anual, incluso aumentó, sin embargo, la intensidad de las precipitaciones se incrementó; por otra parte, en muchas áreas, disminuyó tanto la cantidad como la intensidad de las lluvias. Los pronósticos indican que en los próximos 20 o 30 años, se presentarían reducciones de precipitación en los departamentos de Huila, Putumayo, Nariño, Cauca, Valle del Cauca, Tolima, Córdoba, Bolívar y Risaralda, en los cuales las lluvias se reducirían entre el 15% y el 20%. En contraste, se estima que la región noroccidental del país, específicamente en el departamento de Chocó, aumenten las precipitaciones en más del 10%, no obstante, esta cifra podría invertirse de continuar los progresivos procesos de deforestación que se presentan en esta región (Arango, C., et al., 2019).

## **2.2 Caudales.**

Los caudales de ríos y quebradas están asociados a los períodos de precipitación descritos en el numeral anterior, las altas temporadas de lluvia generan caudales en los ríos que provocan desbordamientos y avalanchas. En estas condiciones, el agua posee un alto grado de turbiedad que dificulta su potabilización, dado el alto contenido de lodos y sedimentos que transporta, por

otra parte, las temporadas de sequía traen consigo una reducción drástica de los caudales, y que dificulta en muchos casos respetar el denominado caudal ecológico, que es el agua necesaria para preservar los valores ecológicos de los cauces. Se debe considerar, que los caudales además de suministrar el agua para consumo humano, conservan una constante demanda por parte de actividades agrícolas, e industriales, y que en la mayoría de los casos, son captadas directamente a través de otros medios, como motobombas, desvíos parciales del cauce, entre otros (Montealegre, 2012).

Datos reportados por el investigador de la Universidad Nacional de Colombia, Germán Poveda Jaramillo, indican que en Colombia el caudal de los ríos de forma general se ha visto reducido entre un 10 a 15% en los últimos 40 años, y que una de las principales causas de esto ha sido el derretimiento de los glaciares (Poveda, 2015).

Los resultados indicados por Poveda (2015), coinciden con los reportes dados por el IDEAM, en su informe sobre el Estudio Nacional del Agua del año 2020, en el que indicaron que en los último 30 años en Colombia se extinguieron más de 47 km<sup>2</sup> de masa glaciar, que representan más del 56% de la masa reportada por esta misma institución en el año 1980, para ese entonces la masa glaciar del país era de 87 km<sup>2</sup>. La situación es tan acelerada, que solo en la última década se presentó una reducción del 22% de la masa glaciar. En el gráfico de la figura 12 se observa la progresiva reducción del área de masa glaciar de los principales nevados del país (IDEAM & UNAL, 2018).

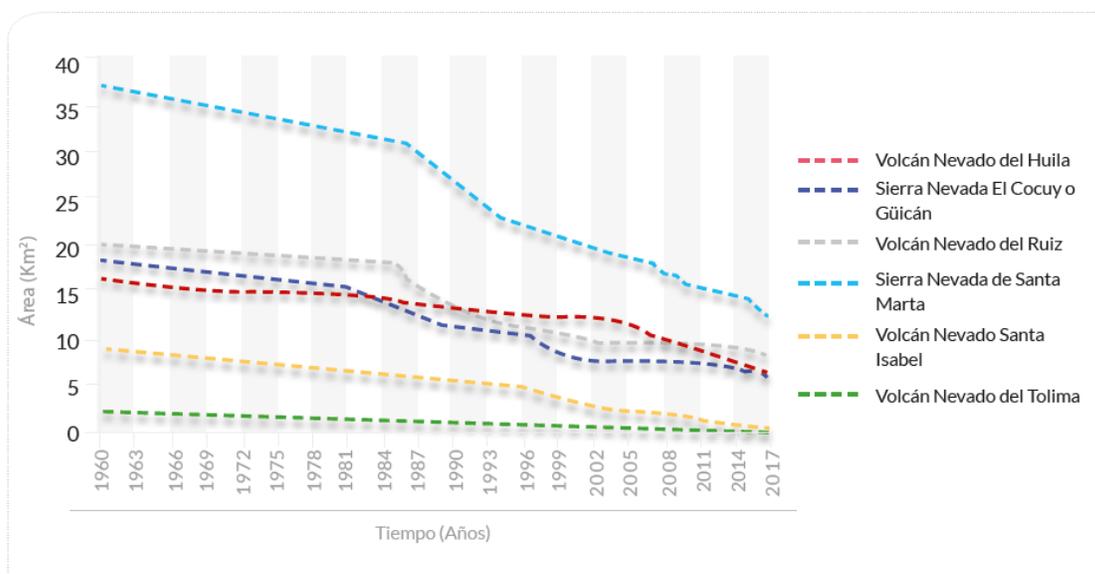


Figura 12. Gráfico de la disminución del área de masa glaciar de Colombia en los últimos 50 años. IDEAM., 2018. Estudio Nacional del Agua, p. 95.

Estudios realizados por Rabatel, A., et al, 2012, indican que en Colombia se ha presentado la extinción completa de 13 importantes glaciares. Actualmente en Colombia solo se encuentran 6 glaciares, de los 19 que fueron reportados a mediados del Siglo XX. Esta situación sumada a la reducción de los páramos, especialmente debido a labores de agricultura y ganadería, han conllevado a una reducción del caudal de las fuentes hídricas del país. Se debe considerar que los páramos y glaciares son los puntos donde nacen la mayor cantidad de ríos en Colombia. En la figura 13 se observa el cambio presentado en el Glaciar Santa Isabel en los últimos 10 años (Rabatel, A., et al., 2012).



*Figura 13.* Cambio registrado en la masa glaciar del nevado de Santa Isabel en los últimos 10 años. IDEAM., 2018. *Estudio Nacional del Agua*, p. 96.

### Capítulo 3. Efectos identificados del cambio climático sobre los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia

Colombia es uno de los países con mayores problemas de acceso al agua en Latinoamérica. Según cifras del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, cerca del 60% de la población colombiana consume agua que no se encuentra en óptimas condiciones de potabilización. El problema es aún más grave en el sector rural, donde para el año 2019 se estimó que más del 26% de la población rural no contaba con servicio de agua potable. Estos porcentajes se asocian con el alto número de muertes anuales (cerca de 1600 cada año), y que están relacionadas con enfermedades digestivas. La demanda del agua en Colombia está asociada a las actividades realizadas en cada renglón económico, en el gráfico de la figura 14 se observa un estimativo de esta demanda (Pulido & Carrillo, 2016).

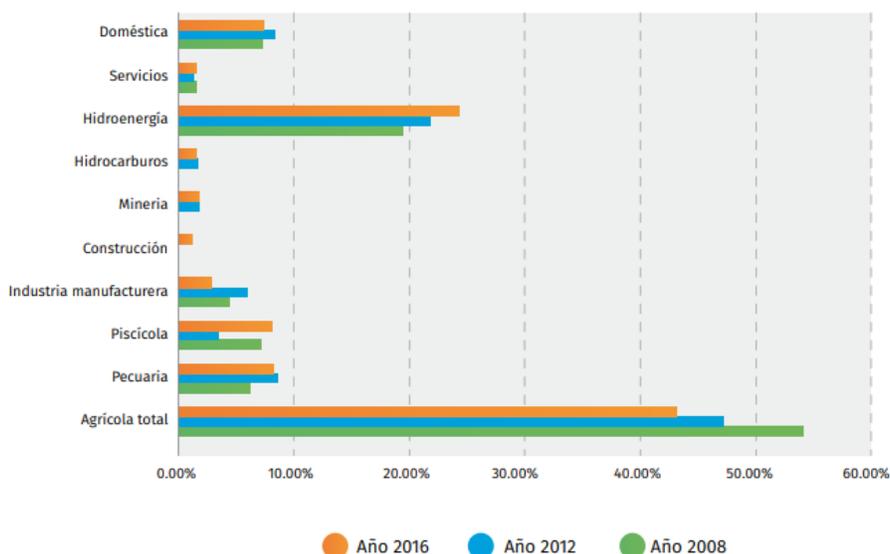


Figura 14. Demanda hídrica por sectores en Colombia. MINAMBIENTE, 2018. *Reporte de avance del estudio nacional del agua 2018*, p. 46.

Según el gráfico anterior, los sectores con mayor demanda de agua en Colombia son las referentes a las actividades agrícolas, y a la generación de energía eléctrica (hidroenergía), estos dos sectores emplean cerca del 43% y el 23%, respectivamente, del agua captada en el país.

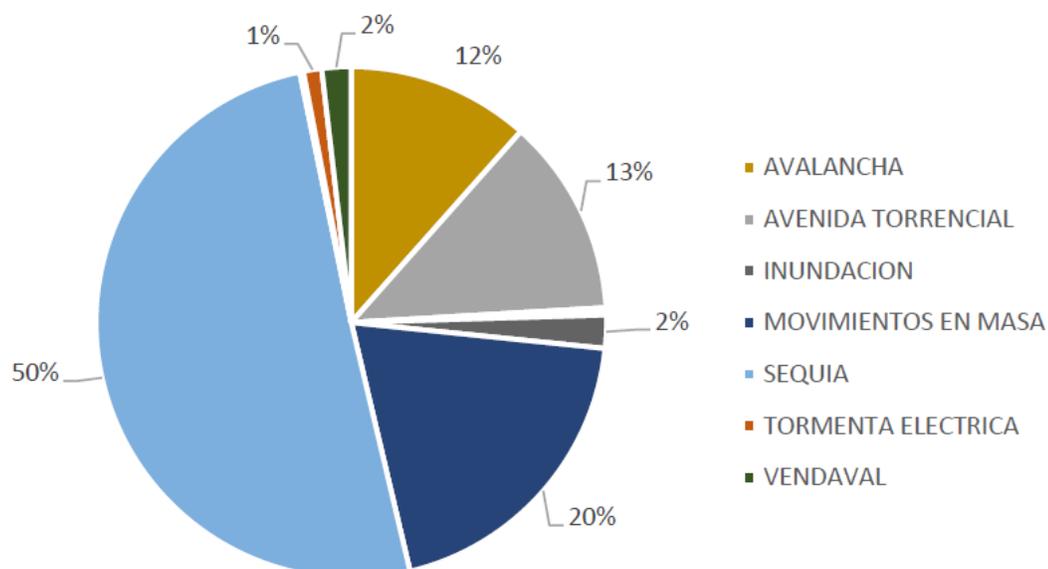
En cuanto a los servicios doméstico, en Colombia se estima una demanda de agua de por lo menos 20 m<sup>3</sup> por vivienda, promediando un consumo per cápita de 130 l/hab/día, sin embargo, en las zonas urbanas este consumo se eleva hasta 200 l/hab/día, mientras que en zonas rurales es de 120 l/hab/día (Escobar, 2008).

Lo anteriormente descrito se muestra como la manifestación de los problemas asociados con el suministro del agua en Colombia, sin embargo, existen efectos asociados al cambio climático que se relacionan directamente con el sistema de suministro del agua, estos aspectos serán abordados en el presente capítulo.

### **3.1 Eventos naturales asociados al cambio climático**

Los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia, se ven afectados por los fenómenos naturales. Según cifras reportadas por Superservicios, entidad encargada de evaluar la calidad de este servicio en Colombia, en el país los fenómenos que mayor efecto negativo producen son: las avalanchas, las avenidas torrenciales, las inundaciones, los movimientos en masa, las sequías, las tormentas eléctricas y los vendavales. En el gráfico de la figura 15 se

observa el porcentaje de eventos naturales con afectaciones sobre los sistemas de captación y potabilización del agua (Superservicios, 2020).



*Figura 15. Gráfico de eventos naturales con afectaciones sobre los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia. Supersevicios, 2020. Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado 2014-2017, p. 76.*

Como se observa en el gráfico anterior, en Colombia los eventos naturales que mayor afectación producen sobre los sistemas de captación y potabilización del agua son las sequías (50%), los movimientos en masa (20%), las inundaciones (13%), y las avalanchas (12%). Todos estos eventos se asocian directamente con los cambios que se han producido en Colombia en el régimen de precipitaciones y en el caudal de las fuentes hídricas, las cuales fueron descritas en el capítulo anterior.

### 3.1.1 Sequías.

Según estimaciones dadas por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, de los 1122 municipios existentes en Colombia, 391 se encuentran en situación de riesgo de quedarse sin agua, y son los municipios más golpeados por las sequías. Durante la última sequía acontecida en el país, 48 municipios se declararon en calamidad pública por desabastecimiento de agua. En la figura 16, se puede observar el cauce del río Magdalena, principal fuente hídrica del país, durante la sequía acontecida en el año 2015. Este es el panorama que viene presentándose en la mayor parte de ríos de Colombia a causa de los efectos del cambio climático.



*Figura 16.* Cauce del río Magdalena durante la sequía del año 2015. Vanguardia, 2016. Obtenido en: <https://www.vanguardia.com/colombia/sigue-la-alerta-roja-por-sequia-en-el-rio-magdalena-LEVL344593>

Las sequías producen una reducción de hasta el 80% del cauce natural de los ríos, lo que genera el desabastecimiento de agua potable en las poblaciones. Existen regiones en Colombia, principalmente en las grandes ciudades, donde los sistemas de captación con complementados con embalses o reservorios que permiten mitigar el impacto de las sequías, sin embargo, la

mayor parte de poblaciones no cuenta con esta opción, por lo que dependen directamente del agua disponible en el momento para satisfacer la demanda de este líquido (UNGRD, 2016). Los sistemas de captación y potabilización, durante las sequías, se limitan al procesamiento de la mayor parte del caudal disponible, lo que genera consigo graves efectos en el medio ambiente, sobre todo en los ecosistemas aguas abajo. El agua debe ser racionada para garantizar su distribución equitativa. En la figura 17, se muestra el cauce del río Cali durante una sequía, se observa que el caudal disponible está por debajo del nivel requerido para ser captada por las rejillas construidas paralelamente al cauce del río.



*Figura 17.* Cauce del río Cali durante temporadas de sequía. Elpais.com, 2018. Obtenido en: <https://www.elpais.com.co/cal/intenso-calor-tiene-el-nivel-de-los-rios-de-por-la-mitad-de-lo-habitual.html>.

### **3.1.2 Movimientos en masa.**

Los movimientos en masa hacen referencia a los desplazamientos o desprendimientos del terreno a favor de la pendiente, generada principalmente por la acción de la gravedad, así como por los efectos producidos por factores como el agua, excavaciones, cargas aplicadas sobre el terreno, entre otros. En el caso de los sistemas de captación y potabilización, estos se manifiestan

principalmente como socavaciones o desprendimientos que afectan la estructura principal del sistema, especialmente las captaciones. De esta manera, se afecta todo el suministro de agua, dada la imposibilidad de captar el agua. En la figura 18 se observa una bocatoma afectada por movimientos en masa (UNGRD, 2016).



*Figura 18.* Movimientos en masa en la bocatoma del municipio de Puerto Asis, Putumayo. Diarioutopia, 2021. Obtenido en: <http://www.diarioutopia.com/los-antiguos-bocatoma-destruida-por-la-creciente-del-rio-los-antiguos/>.

En Colombia, en la última década, se han reportado cerca de 85 movimientos en masa que han afectado a los sistemas de suministro de agua potable, generando con ello problemas de abastecimiento y suministro. Los departamentos con mayor número de eventos de este tipo son Putumayo, Caldas, Antioquía y Meta. En el gráfico de la figura 19 se muestran los

departamentos del país donde se han registrado movimientos en masa, Norte de Santander figura dentro de ellos.

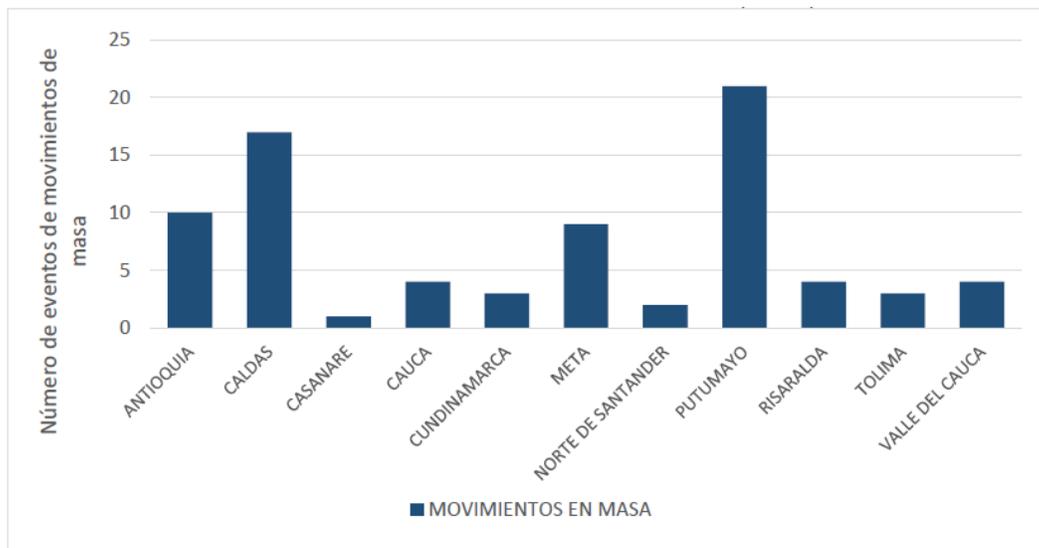


Figura 19. Gráfico del número de movimientos en masa por departamento en la última década. Supersevisios, 2020. *Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado 2014-2017*, p. 78.

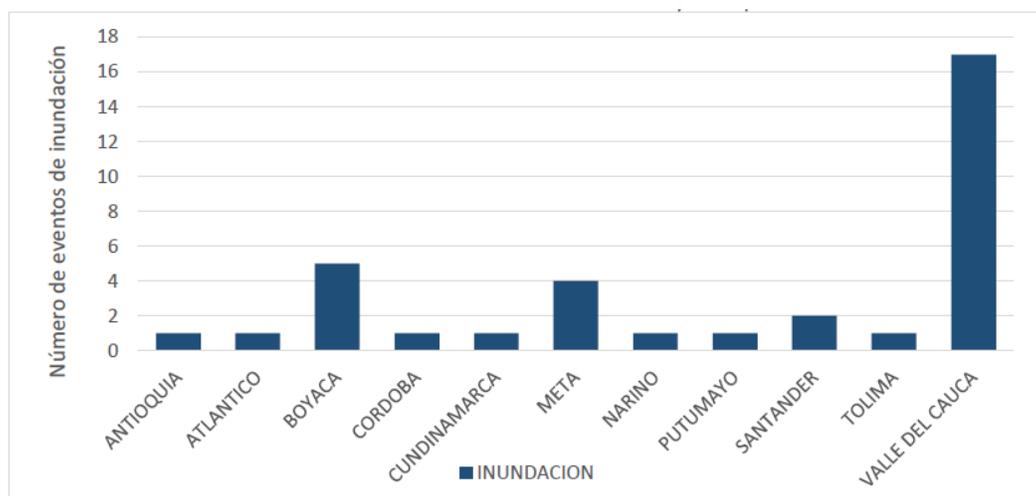
### 3.1.3 Inundaciones y avalanchas.

Las inundaciones hacen referencia a la ocupación por parte del agua de terrenos que habitualmente están libres de ésta, y que son el resultado principalmente de desbordamientos de ríos, mientras que las avalanchas son una mezcla de agua, y sedimentos de diferentes proporciones, que se desplazan rápidamente a lo largo de los cauces, especialmente en ríos de cuencas pequeñas y de montañas. Se caracterizan por presentarse de forma súbita o repentina, y suelen ser el resultado de movimientos en masa, o de represamientos naturales o antrópicos de materiales vegetales (árboles, basuras, entre otros). En la figura 20 se observa un sistema de captación afectado por una avalancha (Aristizábal, Arango, & García, 2019).



*Figura 20.* Sistemas de captación afectada por avalancha en Palmira, Valle del Cauca. 90minutos, 2021. Obtenido en: <https://90minutos.co/creciente-rio-nima-provoco-avalancha-palmira-21-03-2017/>.

En el gráfico de la figura 21 se observa los departamentos donde se registraron afectaciones en los sistemas de captación y potabilización del agua a causa de inundaciones y avalanchas, siendo el Valle del Cauca, el departamento más afectado por este tipo de fenómenos.



*Figura 21.* Gráfico del número de movimientos en masa por departamento en la última década. Supersevicios, 2020. *Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado 2014-2017*, p. 78.

## **Capítulo 4. Alternativas propuestas para la optimización de los sistemas de captación y potabilización en Colombia**

Se ha comprobado que la carencia de agua potable y de buenas condiciones de salubridad, propicia la generación de enfermedades y aumenta el número de muertes por problemas de agua. Las recomendaciones generales para solucionar este problema, se centran en aspectos como inversión en infraestructura, programas de educación sobre el manejo y consumo del agua, uso de tecnologías sostenibles, y en vincular a las comunidades en la búsqueda de soluciones (Red ALFA TECSPAR, 2015).

Para buscar soluciones al problema existente en los sistemas de captación y potabilización en Colombia, se han propuesto diversas ideas encaminadas a mejorar el aprovechamiento de los recursos hídricos, sin embargo éstas se han centrado en la utilización de nuevos elementos químicos para el tratamiento del agua, en el uso de filtros en los desarenadores, o la implementación de nuevos métodos de diseño para reducir el diámetro de tuberías, secciones, entre otras, sin embargo, éstas opciones no han considerado el aspecto climático, por lo que no han representado un cambio significativo en el suministro de agua potable para los colombianos.

De acuerdo al Departamento Nacional de Planeación, así como agencias en pro de la mitigación del cambio climático, e instituciones gubernamentales, la optimización de los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia debe estar relacionada con

alternativas que promuevan el aprovechamiento de las aguas lluvias, la reforestación de las cuencas hidrográficas, y la reutilización de las aguas residuales (IDEAM, et al., 2015).

#### 4.1 Utilización de aguas lluvias

La implementación de sistemas que generen un aprovechamiento de aguas lluvias se divide en dos grupos, de acuerdo a su complejidad. El primer grupo son los sistemas a corto plazo, los cuales se caracterizan por recolectar el agua lluvia en las cubiertas de las viviendas, siendo transportadas a tanques de almacenamiento, siendo empleada generalmente para usos no potables: duchas, lavandería, lavado de pisos, enseres, entre otros usos. En la figura 22 se observa un ejemplo de un sistema empleado principalmente en las zonas rurales de Colombia (Correa, 2014).



*Figura 22.* Sistema de aprovechamiento del agua lluvia. Cuevadelcivil.com, 2021. Obtenido en: <https://www.cuevadelcivil.com/2010/12/captacion-de-agua-pluvial.html>

El otro grupo corresponde al denominado como sistemas a largo plazo, el cual se caracteriza por poseer un conjunto de elementos que permiten el filtrado del agua, el cual permite su potabilización, siendo en la mayor parte de los casos apta para consumo humano. En Colombia, este sistema se ha implementado en un gran número de edificaciones, con lo cual se reduce la demanda de agua del sistema de acueducto, lo que también representa a largo plazo ahorros económicos para los usuarios (Montero, 2016).

Un ejemplo de edificios donde se ha implementado el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias a largo plazo, es en la sede de Bancolombia en la ciudad de Medellín. Este edificio posee un área de cubierta de aproximadamente 6.000 m<sup>2</sup>. Posee sistemas de recolección y potabilización del agua, que permiten satisfacer su demanda aproximadamente en un 75%. En la figura 23 se observa una vista panorámica de este edificio.



*Figura 23.* Edificio Sede Bancolombia en la ciudad de Medellín. Larepública.com, 2021. Obtenido en: <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/el-edificio-de-bancolombia-en-medellin-recio-la-certificacion-ambiental-leed-2000905>.

Otro ejemplo representativo de edificios con sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, es la Facultad de Posgrados de la Universidad Nacional de Colombia. La geometría del edificio, así como sus detalles arquitectónicos, están orientados hacia una recolección y canalización del agua, para lo cual cuentan en su cubierta con capas de grava que filtran el agua para ser transportada a tanques subterráneos de almacenamiento. Esta agua es bombeada y reutilizada principalmente en inodoros, fuentes, y para labores de aseo general. De esta forma, la edificación ha logrado satisfacer su demanda de agua hasta en un 50%. En la figura 24 se observa una vista aérea de este edificio.



*Figura 24.* Edificio de la Facultad de Posgrados de la Universidad Nacional de Colombia. Solus4.com, 2021. Obtenido en: <http://www.solus4.com/portfolio/institutional/post-graduate-social-studies-building-universidad-nacional-de-colombia-bogota-colombia>

Actualmente existen empresas internacionales que reconocen el aprovechamiento del agua lluvia para satisfacer las demandas de agua potable de las edificaciones, una de ellas es la U.S. Green Building Council (Consejo Estadounidense de Construcción Verde), el cual brinda la certificación *Leed Leadership in Energy and Environmental Design* (Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental). En Colombia actualmente cerca de 15 edificios cuentan con este reconocimiento, y se está promoviendo la implementación de políticas públicas que faciliten su

aplicación. Con este tipo de alternativas se reduce la demanda de agua en los sistemas de captación y potabilización existentes en el país, además de promoverse el uso de tecnologías en pro del desarrollo sostenible, encaminadas a reducir la huella ambiental, a través del ahorro de agua y energía (Montero, 2016).

#### **4.2 Reforestación de las cuencas hidrográficas**

Eventos directos que afectan negativamente a los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia están directamente relacionados con la deforestación. Movimientos en masa, avalanchas e inundaciones, se correlacionan con la disminución de la cubierta vegetal de las principales cuencas hidrográficas del país, lo que ha conllevado a una reducción del agua disponible en las fuentes hídricas superficiales. Según reportes del IDEAM, en Colombia cada año son deforestadas más de 150.000 hectáreas de bosques, los cuales en su mayoría se ubican en cercanías de cursos de agua. En la figura 25 se observa un área deforestada.



*Figura 25.* Zona boscosa deforestada. Pulzo.com, 2021. Obtenido en: <https://www.pulzo.com/nacion/deforestacion-crece-colombia-PP300295>

En Colombia, se ha promovido la reforestación de las cuencas hidrográficas como una forma de mitigar el impacto asociado al cambio climático, sin embargo, el promedio de reforestación es muy bajo. Según cifras dadas por los ministerios de Agricultura, y de Medio Ambiente, en Colombia se reforestan cerca de 8.000 hectáreas anuales, es decir, el 6% de lo que anualmente se deforesta, lo cual no compensa las pérdidas ambientales generadas (Ministerio de Medio Ambiente, 2020).

Algunas empresas privadas han destinado importantes recursos para ayudar a distintos programas de reforestación en el país, siendo Argos, EPM, y Bavaria, las empresas que más aportes han destinado a estos fines. Se estima que en conjunto, por estas empresas se han sembrado cerca de 10 millones de árboles en los últimos 8 años, que han permitido la reforestación y adecuación de cerca de 15.000 hectáreas. Estas iniciativas, han estado centradas en zonas de alto interés hídrico, especialmente cuencas de ríos, y embalses. En la figura 26 se observa una jornada de siembra de árboles.



*Figura 26.* Jornadas de reforestación promovidas por empresas privadas. EPM, 2021. Obtenido en: <https://www.las2orillas.co/empresas-privadas-se-la-juegan-por-la-reforestacion-en-colombia/>

La importancia de la reforestación de las cuencas hídricas para los sistemas de captación y potabilización del agua en Colombia, radica en que las zonas cubiertas de árboles son fundamentales como retenedores de humedad, con lo cual se garantiza la permanencia del agua durante temporadas de sequía. Así mismo, la reforestación permite disminuir la velocidad e intensidad de la escorrentía, principal causa de los movimientos en masa, avalanchas e inundaciones.

#### **4.3 Reutilización de las aguas residuales**

Para reutilizar las aguas residuales, es necesario aplicar un tratamiento en plantas especializadas para tal fin, de manera que se eliminen o remuevan los elementos y sustancias contaminantes presentes en el agua. Este proceso es considerado fundamental para optimizar los sistemas de captación y potabilización, pues gran parte del agua residual es depositada directamente en fuentes hídricas, lo que imposibilita su posterior uso para consumo humano (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración , 2020).

El agua residual que es tratada, aunque no es directamente aceptable para consumo humano, si puede ser empleada para actividades agrícolas, de cultivo y ganadería, ya que este sector, utiliza más del 45% del agua captada en el país. En la figura 27 se observa una planta de tratamiento de aguas residuales.



*Figura 27.* Vista aérea de una planta de tratamiento de aguas residuales. Iagua.co, 2021. Obtenido en: <https://www.iagua.es/blogs/rossember-saldana-escorcia/vision-tratamiento-aguas-residuales>.

Si bien, plantas como las observadas en la figura anterior, permiten un tratamiento del agua residual a gran escala, también es importante considerar el aporte que brindan sistemas de menor escala y que son implementados en viviendas familiares o en edificaciones urbanas. En la figura 28 se observa un sistema de tratamiento de aguas residuales creado por la empresa colombiana Synertech, el cual puede ser instalado en edificaciones.



*Figura 28.* Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Modular para uso en edificaciones. Obtenido en: <https://ar.pinterest.com/pin/603975000005640279/>.

Estos sistemas permiten un tratamiento de la totalidad de las aguas residuales producidas por la edificación. El agua tratada puede ser empleada por el mismo edificio para actividades referentes a limpieza o regadío, o también pueden ser vertidas al sistema de alcantarillado. Dependiendo del tamaño de la planta, así será la cantidad de agua residual que puede ser tratada con el sistema. Actualmente existen equipos instalados con una capacidad para tratar caudales de hasta 20 m<sup>3</sup>/h. La reutilización del agua residual es una alternativa sostenible que busca reducir la demanda de agua de los sistemas de captación y potabilización. En países como Colombia, se busca una racionalización eficaz del consumo de agua, por lo que la construcción de edificios verdes o sustentables donde se implementen estos sistemas se considera como una opción de alto impacto.

## Conclusiones

El desarrollo de esta monografía permitió concluir lo siguiente:

En Colombia, los sistemas de captación y potabilización se encuentran compuestos por una serie de elementos, siendo la fuente el primero de ellos. La fuente representa el acceso al agua disponible, principalmente de tipo superficial en ríos, quebradas, embalses, entre otros. El sistema continúa con la captación del agua en las fuentes, generalmente mediante bocatomas, desde las cuales el agua es conducida mediante tuberías y canales a la planta de tratamiento. Después es almacenada y distribuida a los usuarios del sistema.

El cambio climático se ha manifestado en Colombia principalmente generando variaciones en los regímenes de precipitación y en el caudal de las fuentes hídricas. En lo referente a las precipitaciones, estas sean intensificado, lo que ha generado inviernos cortos e internos, pero al mismo tiempo veranos prolongados. Esta situación provoca continuas inundaciones que afecta la infraestructura del país, acompañadas de períodos de sequías severas. Por otra parte, los caudales de las fuentes hídricas, se ven alteradas por estos cambios en las precipitaciones, a lo que se suma el deterioramiento acelerado de los sistemas glaciares del país, y la reducción de los páramos, fuente primaria para el nacimiento de los principales ríos del país.

Los mayores efectos identificados del cambio climático en Colombia, y que representan un efecto negativo sobre los sistemas de captación y potabilización del agua, son las sequías, los movimientos en masa, y las inundaciones y avalanchas. Estos efectos son el resultado de las variaciones relacionadas con el régimen de precipitaciones y la reducción de caudales de las fuentes hídricas, a lo que se suma la continua deforestación y la destrucción de páramos, principalmente motivadas por actividades agrícolas e industriales.

En Colombia se han propuesto diversas ideas para optimizar los sistemas de captación y potabilización, sin embargo, estas no han considerado los efectos producidos por el cambio climático. Por tal motivo, en la actualidad se considera que las reales alternativas de optimización son aquellas enfocadas en el aprovechamiento de las aguas lluvias, la reforestación de las cuencas hidrográficas, y la reutilización de las aguas residuales. Estas alternativas disminuyen la demanda existente hacia los sistemas de captación y potabilización, y se adaptan a las nuevas tendencias y orientaciones hacia un correcto aprovechamiento de los recursos en pro de un desarrollo sostenible.

## Referencias

- Arango, C., et al. (2019). *Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada al ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del Sur (ENSO)*. Publicación, Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático. Subdirección de Meteorología - IDEAM.
- Arévalo, Y. (2012). *Diseño de una planta de potabilización de agua a escala de laboratorio utilizando agua lluvia para el bloque C de la Universidad Libre sede Bosque Popular*. Tesis de pregrado, Universidad Libre de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Aristizábal, E., Arango, M., & García, I. (2019). Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos. *Cuadernos de Geografía*, 29(1), 242-258.
- AVINA. (2012). *Operación y Mantenimiento de sistemas de agua potable*.
- Berdonces, J. (2008). La problemática del tratamiento del agua potable. *Medicina Naturista*, 2(2), 69-75.
- Casero, D. (2008). *Potabilización del agua*. Tesis de maestría, Escuela de Negocios EOI.
- Cifuentes, J. (2021). *Agua y cambio climático en Colombia: El paradigma entre el exceso y la escasez. iagua*.
- Comisión Reguladora de agua, et al. (1997). *Análisis del sector de agua potable y saneamiento en 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*. Tesis de pregrado, Universidad Libre de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Cruz, M., & Samacá, L. (2019). *Propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque ubicado en el municipio de Tocancipá*. Tesis de pregrado, Universidad de La Salle, Bogotá D.C., Colombia.
- Cure, S., & Gómez, W. (2020). *Análisis de alternativas para la potabilización de agua lluvia para uso doméstico en zonas rurales de Colombia*. Tesis de especialización, Universidad de Antioquía, Medellín, Colombia.
- Díaz, I. (2014). *Modelo de reporte de daños de la infraestructura de los sistemas de acueducto en Colombia*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Diseprosas. (2015). *Planta de tratamiento de aguas*.
- Durán, J., & Torres, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad*, 12(36), 129-162.
- Escobar, L. (2008). *Cambio climático: ¿Una caja de Pandora?* Informe-Publicación, CORANTIOQUIA, Medellín, Colombia.
- Fedesarrollo. (2013). *Ciudades y Cambio Climático en Colombia*. Instituto para la Investigación y Debate sobre la Gobernanza (IRG).

- González, J. (2014). *La gestión del riesgo de desastre en las inundaciones de Colombia: Una mirada crítica*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Guy, et al. (2016). Climate change and sanitation: Likely impacts and emerging trends for action. *Further*, 41, 253-276.
- Hernández, E., & Corredor, C. (2017). *Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua, se dispondra en el laboratorio de aguas de la universidad Católica de Colombia*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Hurtado, A., & Mesa, Ó. (2015). Cambio climático y variabilidad espacio - temporal de la precipitación en Colombia. *Revista EIA*, 12(24), 131-150.
- IDEAM, & UNAL. (2018). *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM, et al. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Informe - Publicación, Departamento Nacional de Planeación DNP, Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM., & INVEMAR. (2010). *Agua*.
- IDEAM.. (2018). *Estudio Nacional del Agua*. Informe - Publicación, Minambiente, Bogotá D.C., Colombia.
- IWA. (2020). *Perspectives on water and climate change adaptation*. International Water Association.

- Jaramillo, A., & Chaves, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafé*, 51(2), 102-113.
- Jiménez, J. (2012). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*. Tesis de pregrado, Universidad Veracruzana.
- Kumar, R. (2016). *An Investigation of the Performance of Hot Mix Asphalt (HMA) Binder Course Materials with High Percentage of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) and Rejuvenators*. Tesis de maestría, Worcester Polytechnic Institute.
- Ley 142. (1992). *Por el cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones*. Ley, Departamento Administrativo de la Función Pública, Bogotá D.C., Colombia.
- Ligardo, A. (2019). *Diagnóstico planta de tratamiento de agua potable, desde su punto de captación hasta la red de distribución, en el municipio del castillo, departamento del Meta*. Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia.
- López, A., & Jiménez, B. (2016). *Manual de operación y Mantenimiento Planta de tratamiento de agua potable San Antonio-Asociación Sucuneta*. Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2020). *Propuestas de acciones y recomendaciones para mejorar la productividad del agua, la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y el reúso del agua en Colombia*. Departamento Nacional de Planeación - DNP, Medellín, Colombia.

- Ministerio de Salud de Colombia. (2018). *Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano*. Informe, Ministerio de Salud y Protección Social, Bogotá, D.C., Colombia.
- 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 sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa en el ahorro de agua potable en viviendas*. Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás.
- Ortiz, W., & Velandia, W. (2017). *Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Poveda, G. (2015). *Estudio del ciclo del agua, ecología y cambio climático*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Pulido, H., & Carrillo, M. (2016). *Diseño hidráulico de una planta de potabilización de agua en la vereda de San Antonio de Anapoima*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia.
- Rabatel, A., et al. (2012). Review article of the current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere Discuss*, 6(4), 2477-2536.

- Raigoso, N., & Hernández, M. (2018). *Diseño del plan de mejoramiento de la planta de potabilización del acueducto comunitario de la vereda agualinda chiguaza*. Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia.
- RAS. (2017). *Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Resolución, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Red ALFA TECSPAR. (2015). *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas*. TECSPAR.
- Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración . (2020). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. CYTED, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, F., Jiménez, M., & Pedraza, L. (2019). Efectos del cambio climático en la salud de la población colombiana. *Duazary*, 16(2), 319-331.
- Superservicios. (2020). *Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2014 - 2017*. Informe-Publicación, Departamento Nacional de Planeación DNP, Bogotá D.C., Colombia.
- UN Voluntarios. (2018). *Agua y Saneamiento*. GFDRR.
- UNGRD. (2016). *Fenómeno El Niño*. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, Bogotá D.C., Colombia.
- Wols, B., Daal, K., & Thienen, P. (2014). Effects of climate change on drinking water distribution network integrity: predicting pipe failure resulting from differential soil settlement. *Procedia Engineering*, 70, 1726-1734.

