

**Análisis del acceso al agua potable en el municipio de Aratoca, Santander, entre 2014 y  
2024.**

Miguel Antonio Jaimes Pereira

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Ingeniería ambiental

2024

**Análisis del acceso al agua potable en el municipio de Aratoca, Santander, entre 2014 y  
2024.**

Miguel Antonio Jaimes Pereira

Proyecto de grado - monografía para optar por el título de

Ingeniería ambiental

Directora

María Fernanda Domínguez amorochó

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Ingeniería ambiental

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente de Jurado

---

Firma del Jurado Firma del Jurado

Bucaramanga, 2024.

## Dedicatoria

Dedico este trabajo a quienes han sido mis pilares fundamentales a lo largo de este camino. A mi madre, cuyo amor incondicional, esfuerzo y ejemplo siempre me han motivado a dar lo mejor de mí. Mamá, tus sacrificios y tus palabras de aliento han sido mi guía constante; sin ti, este logro no habría sido posible. A mi familia, que siempre ha estado ahí, brindándome apoyo y creyendo en mis sueños, incluso cuando parecían lejanos. Gracias por su confianza y por enseñarme la importancia de la perseverancia.

A mi hermano Alex, cuyo apoyo incondicional y constante preocupación fueron una fuente inagotable de fuerza. En cada momento de duda o cansancio, él estuvo allí, recordándome la importancia de continuar y dándome el impulso necesario para no rendirme. Su apoyo es invaluable, y me siento afortunado de haber contado con alguien que cree tanto en mí.

A Angie, quien durante este tiempo fue mi pareja, mi compañera y mi refugio. A su lado, sentí que cada desafío era un poco menos pesado, y cada logro, un poco más dulce. Su paciencia, comprensión y amor me acompañaron en los momentos de mayor presión y estrés, ofreciéndome calma y seguridad. Gracias, Angie, por tu generosidad, por tu compañía y por hacer que este camino fuese más llevadero.

A mis amigos Soledad, Manuel y Liliana que en los momentos más críticos y en los que más lo necesitaba, me ayudaron a recuperar el enfoque y la claridad. Su amistad fue un recordatorio de que, incluso en los momentos más oscuros, uno siempre puede contar con personas que te ayuden a ver las cosas con nuevos ojos y renovar el entusiasmo por alcanzar las metas.

A todos ustedes, les debo mucho más que palabras. Este logro es también suyo, porque sin su apoyo, sin su presencia y sin sus palabras de aliento, este camino habría sido mucho más difícil de

recorrer. Gracias por ser el sostén y el motor de este proceso; siempre estaré agradecido por su compañía y por creer en mí.

## Resumen

Esta monografía analiza la situación del acceso al agua potable en el municipio de Aratoca, Santander, en los últimos diez años. Se identifican los principales desafíos que enfrenta la población en cuanto a la disponibilidad y calidad del agua, incluyendo fenómenos climáticos extremos como el Fenómeno de El Niño, que ha agravado las sequías prolongadas, y la falta de una adecuada planificación hídrica. Aratoca, a pesar de contar con recursos hídricos importantes como el río Chicamocha y varias quebradas, ha experimentado una significativa reducción en su caudal debido a la sobreexplotación de estos recursos, las prácticas agrícolas insostenibles y la deficiencia en la infraestructura para su captación y distribución.

El análisis destaca cómo la falta de inversiones en infraestructura hídrica ha llevado a un desabastecimiento crítico, lo que ha obligado a las autoridades locales a implementar medidas de emergencia como el uso de carrotanques para el suministro de agua potable en momentos de crisis. No obstante, estas soluciones temporales no abordan las causas estructurales de la problemática. La falta de infraestructura adecuada no solo ha afectado a la población en términos de acceso al agua potable, sino que ha tenido un impacto directo en la productividad agrícola, especialmente en cultivos como el café, y en la ganadería, actividades clave para la economía local.

La monografía también examina las diferentes estrategias y acciones implementadas por el gobierno local y otras entidades para mitigar la crisis hídrica. Entre ellas, se incluyen la rehabilitación de sistemas de acueducto y la mejora de la infraestructura de alcantarillado, además de la promoción de técnicas sostenibles como la captación de agua de lluvia. Estas iniciativas, aunque positivas, se consideran insuficientes para resolver el problema a largo plazo,

dadas las crecientes presiones que enfrenta la región debido al cambio climático y al incremento de la demanda de agua por el crecimiento poblacional.

Finalmente, se proponen posibles soluciones sostenibles para la gestión hídrica de Aratoca, entre ellas, la modernización y ampliación de la infraestructura de almacenamiento de agua, la implementación de tecnologías de riego eficientes para reducir el consumo agrícola, y la educación de la comunidad en cuanto al uso responsable y conservación del recurso hídrico.

***Palabras clave:*** gestión del recurso hídrico, escasez de agua, infraestructura hídrica, contaminación de fuentes hídricas, cambio climático.

## Abstract

This monograph analyzes the drinking water access situation in the municipality of Aratoca, Santander, over the last decade. It identifies the main challenges the population faces regarding water availability and quality, including extreme climatic events such as El Niño, which has worsened prolonged droughts, and the lack of proper water resource planning. Despite having significant water resources such as the Chicamocha River and several creeks, Aratoca has experienced a significant reduction in water flow due to the overexploitation of these resources, unsustainable agricultural practices, and deficiencies in the infrastructure for water capture and distribution.

The analysis highlights how the lack of investments in water infrastructure has led to critical shortages, forcing local authorities to implement emergency measures such as water truck deliveries during times of crisis. However, these temporary solutions do not address the structural causes of the problem. The lack of adequate infrastructure has affected not only the population's access to drinking water but also the region's agricultural productivity, particularly in key economic sectors like coffee farming and livestock.

The monograph also examines various strategies and actions implemented by the local government and other entities to mitigate the water crisis. These include rehabilitating aqueduct systems, improving sewage infrastructure, and promoting sustainable techniques such as rainwater harvesting. While positive, these initiatives are considered insufficient to address the problem in the long term, given the growing pressures the region faces due to climate change and increasing water demand from population growth.

Finally, the study proposes sustainable water management solutions for Aratoca, including modernizing and expanding water storage infrastructure, implementing efficient irrigation technologies to reduce agricultural water consumption, and educating the community about responsible water use and conservation.

**Keywords:** Water resource management, water scarcity, water infrastructure, water source contamination, climate change

## Tabla De Contenido

Introducción .....	13
Definición Del Problema .....	13
Antecedentes Del Problema .....	13
Formulación Del Problema .....	16
Justificación .....	18
Objetivos .....	20
Objetivo General .....	20
Objetivos Específicos .....	20
Marco Referencial .....	21
Estado Del Arte .....	21
Investigaciones Nacionales E Internacionales .....	21
Marco Teórico .....	30
Fuentes Actuales De Acceso Al Agua Potable E Infraestructura En Aratoca .....	30
Marco Conceptual .....	33
Marco Histórico .....	37
Marco Legal .....	48
Desarrollo De Los Objetivos .....	52
Gestión Del Recurso Hídrico (2014-2024) .....	72

Acciones Que Se Han Adelantado En El Municipio En Los Últimos 10 Años Frente A La Gestión Del Recurso Hídrico .....	82
Posibles Soluciones De Mitigación Y/O Sostenibilidad Para La Gestión Hídrica A Nivel Local .....	93
Conclusiones.....	104
Recomendaciones .....	107
Referencias.....	110

## Lista De Figuras

<b>Figura 1</b> Proyección poblacional Aratoca-Santander (2024-2035).....	38
<b>Figura 2</b> Microrregiones y zonificación rural municipio de Aratoca, Santander.....	55
<b>Figura 3</b> Mapa sector urbano Aratoca, Santander.....	56
<b>Figura 4</b> Clasificación del territorio.....	57
<b>Figura 5</b> Cobertura acueducto Aratoca-Santander .....	61

## Introducción

### Definición Del Problema

### Antecedentes Del Problema

Aratoca, un municipio colombiano que cuenta con significativos recursos hídricos, como el río Chicamocha y numerosas quebradas (Cantabara, La Playa, La Quinta, La Arenosa, La Montaña, Guacamaya, Agua Blanca, La Quinta, La Onda y La Tomita), ha venido experimentando dificultades en el acceso al agua. Estas dificultades han resultado en una escasez hídrica que compromete la calidad de vida de sus habitantes y ha llevado incluso a declaraciones de calamidad pública (Vanguardia, 2024).

Desde el año 2015, el Ministerio de Vivienda ha emitido alertas sobre las dificultades que tendrían varios municipios del país, incluyendo Aratoca, para el acceso al agua debido a la intensa sequía producto del Fenómeno de El Niño (Ministerio de Vivienda, 2015). En 2020, la situación se agravó, requiriendo acciones de abastecimiento por carrotanques debido a la sequía, lo que llevó a declarar calamidad pública (RCN Radio, 2020).

La problemática se ha intensificado en los últimos años, especialmente a finales de 2023 y comienzos de 2024, con la llegada de un nuevo episodio del Fenómeno de El Niño al territorio colombiano (El País, 2024). La escasez hídrica en Aratoca refleja una preocupante tendencia global que también se observa en otras partes de Colombia y en el departamento de Santander, convocando a las autoridades locales y a la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) a tomar acciones inmediatas para abastecer a la población con agua potable mediante carrotanques (Vanguardia, 2024).

## **Impactos de la escasez hídrica en Aratoca**

Uno de los impactos más inmediatos y visibles de la escasez hídrica en Aratoca ha sido el racionamiento del agua potable para el consumo humano. Las autoridades locales se han visto obligadas a implementar estrictos horarios de suministro, limitando el acceso al agua potable durante varias horas al día. Este racionamiento ha afectado tanto al área urbana como rural del municipio, complicando la vida cotidiana de los habitantes y limitando sus actividades domésticas y comerciales (Vanguardia, 2024).

La agricultura, una de las principales actividades económicas de Aratoca, ha sido gravemente afectada por la sequía. La falta de agua ha llevado a la pérdida de cultivos de café, maíz, yuca y frutales, impactando directamente en la economía local y la seguridad alimentaria de la población. Los agricultores han reportado pérdidas significativas, lo que ha llevado a algunos a considerar el abandono de sus tierras (El Tiempo, 2024).

La ganadería también ha sufrido las consecuencias de la escasez hídrica. La falta de agua y la consecuente disminución de pastos ha resultado en la muerte de ganado y otros animales de granja. Esta situación ha agravado la crisis económica en el municipio, ya que muchos habitantes dependen de la ganadería como su principal fuente de ingresos (Caracol Radio, 2024).

La crisis hídrica ha tenido repercusiones en el ámbito educativo, con algunas escuelas viéndose obligadas a cerrar temporalmente debido a la falta de agua potable. Los estudiantes se han visto privados de acceso a la educación, exacerbando los problemas sociales y económicos en la región. Las autoridades educativas han intentado implementar soluciones temporales, como

el abastecimiento de agua en carrotanques, pero estas medidas no han sido suficientes para garantizar la continuidad del servicio educativo (El Espectador, 2024).

## **Formulación del problema**

A pesar de contar con recursos hídricos naturales como el río Chicamocha y varias quebradas, el municipio de Aratoca enfrenta una creciente escasez de agua que afecta la calidad de vida de sus habitantes y ha llevado a repetidas declaraciones de calamidad pública en la última década. Este problema es el resultado de varios factores, entre los cuales destacan:

### **Influencia del fenómeno de El Niño**

El fenómeno de El Niño ha intensificado las sequías en la región. En 2015, el Ministerio de Vivienda alertó que varios municipios, incluido Aratoca, enfrentarían serias dificultades para acceder al agua debido a la sequía exacerbada por fenómeno de El Niño (Ministerio de Vivienda, 2015). Las precipitaciones en Aratoca se redujeron en un 40% durante el fenómeno de El Niño de 2015-2016, lo que agravó la escasez hídrica (IDEAM, 2016).

### **Insuficiencia de medidas de gestión y planificación hídrica**

A pesar de los esfuerzos para implementar planes de desarrollo y estrategias de gestión hídrica, las medidas adoptadas no han sido suficientes. La escasez de agua ha llevado a la necesidad de utilizar carrotanques para suministrar agua a la población, pero estas soluciones temporales no abordan la solución del problema a largo plazo (Vanguardia, 2024).

### **Datos cuantitativos de afectación**

Declinación en el abastecimiento de agua: según el Plan de Desarrollo Municipal (2020-2023), la disponibilidad de agua en Aratoca ha disminuido un 30% en los últimos cinco años, afectando el suministro a aproximadamente del 60% de los hogares durante los períodos de sequía (Alcaldía de Aratoca, 2023); igualmente se han dado efectos en la salud provocados por la escasez de agua que ha resultado en un aumento del 25% en los casos de enfermedades

transmitidas por el agua tales como amebiasis, cólera, hepatitis, salmonelosis, shigelosis y gastroenteritis en los últimos dos años (Ministerio de Salud de Colombia, 2024).

Este tipo de afectaciones son dadas por la escasez hídrica y fenómenos como El Niño, lo que ha llevado a una disminución de ingresos para los agricultores en los países afectados (UNESCO, 2021); con ello se da una degradación ambiental que se evidencia en la reducción en los niveles de agua impactando los ecosistemas locales, pues la disminución del caudal de ríos y quebradas ha llevado a la pérdida de hábitats acuáticos y la disminución de la biodiversidad (Phung, Zia-Ud-Din, & Caleiro, 2021), así en Aratoca que ha impactado la producción de los cultivos como el café, las frutas y las hortalizas mostrando que la dificultad para el acceso al agua potable genera problemas sociales y de salud y efectos negativos en la agricultura, por ejemplo reduciendo la producción agrícola en Aratoca en un 20% desde 2018 (Gobernación de Santander, 2018).

### **Medidas implementadas**

Planificación y gestión: desde un accionar local, las medidas implementadas incluyen la construcción de pequeños reservorios y la mejora de la infraestructura de distribución. Sin embargo, estas acciones han mostrado una eficacia limitada debido a la falta de recursos y la falta de una planificación integrada (Alcaldía de Aratoca, 2020).

El análisis del problema requiere una revisión de la situación geográfica y social del municipio, incluyendo una descripción detallada de las fuentes hídricas y la demanda de agua.

Este enfoque permitirá identificar las causas específicas de la escasez hídrica, evaluar las medidas implementadas y proponer estrategias sostenibles a largo plazo para asegurar el acceso al recurso hídrico en Aratoca.

## Justificación

La gestión adecuada del recurso hídrico es crucial para el desarrollo sostenible y la calidad de vida en cualquier comunidad. En Aratoca, Santander, la escasez de agua ha sido una preocupación constante que afecta significativamente a los habitantes, el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental de la región. Esta monografía aborda los impactos de la escasez hídrica en Aratoca y destaca la necesidad de una descripción de la situación actual para formular estrategias efectivas.

La falta de acceso a agua potable y saneamiento adecuado tiene consecuencias graves para la salud pública. En Aratoca, donde la densidad poblacional es de 51,26 habitantes por km<sup>2</sup> y la superficie total es de 170 km<sup>2</sup> (DANE, 2024), la escasez de agua afecta el bienestar de la población por la restricción del suministro y acceso, así como el incremento de enfermedades transmitidas por el agua, como la diarrea y el cólera, que son prevalentes en comunidades con deficiencias en el suministro de agua (UN-Water, 2024). Garantizar un suministro de agua seguro y constante es esencial para prevenir estas enfermedades y mejorar la salud general de los habitantes (Ministerio de Salud de Colombia, 2023).

Desde el punto de vista del desarrollo económico y productivo de una comunidad o municipio, el agua es fundamental para la agricultura, que es una de las principales actividades económicas en Aratoca. La producción de cultivos como el café, las frutas y las hortalizas depende en gran medida del riego adecuado (Alcaldía de Aratoca, 2020). La escasez de agua ha reducido la capacidad de los agricultores para cultivar sus tierras, lo que ha llevado a una disminución en la producción agrícola y un impacto negativo en la economía local; según un informe del Ministerio de Agricultura, la producción agrícola en Aratoca ha disminuido un 15%

en los últimos cinco años debido a la falta de agua (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2024).

Por otra parte, la escasez de agua tiene un impacto significativo en la sostenibilidad ambiental en Aratoca. La reducción de la disponibilidad de agua dulce afecta negativamente los ecosistemas locales, incluyendo la flora y fauna dependientes de estos recursos. La pérdida de vegetación y la reducción en la biodiversidad son consecuencias directas de la falta de agua, lo que contribuye a la erosión del suelo y la degradación del hábitat (Phung, Zia-Ud-Din, & Caleiro, 2021).

El cambio climático exacerba estos problemas al alterar los patrones de precipitación y aumentar la frecuencia y severidad de las sequías. Esto intensifica la competencia por los limitados recursos hídricos entre la agricultura, la industria y las necesidades domésticas, generando conflictos y afectando el desarrollo sostenible de la región (National Geographic Society, 2024). La capacidad de los ecosistemas para regenerarse y mantener sus funciones se ve afectada, lo que a su vez impacta negativamente en la calidad de vida y la estabilidad económica de Aratoca (Phung et al., 2021).

## **Objetivos**

### **3.1 Objetivo General**

Analizar el comportamiento y las implicaciones de la gestión del recurso hídrico en el Municipio de Aratoca, Santander, entre 2014 y 2024, con énfasis en las acciones implementadas por el gobierno local para mejorar el acceso al agua potable.

### **3.2 Objetivos Específicos**

Evaluar cómo los instrumentos locales de planificación (EOT, PLANES DE DESARROLLO DE LOS PERIODOS DE 2014 A 2024) de los últimos 10 años han influido en la gestión del recurso hídrico en el Municipio de Aratoca, Santander.

Analizar qué acciones y cómo se han implementado en el municipio de Aratoca, Santander frente a la gestión del recurso hídrico desde el 2014 al 2024.

Indicar posibles soluciones de mitigación y/o sostenibilidad para la gestión hídrica a nivel local.

## **Marco Referencial**

### **Estado Del Arte**

#### **Investigaciones nacionales e internacionales**

Frente la escasez del agua como líquido vital necesario para la vida en el planeta tierra, encontramos por ejemplo el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2024. Este informe aborda las complejas interrelaciones entre la gestión sostenible del agua, la prosperidad y la paz, entre algunos aspectos que destaca encontramos: la gestión sostenible del agua tiene múltiples beneficios como la salud, la seguridad alimentaria, la protección contra desastres, la educación y el desarrollo económico, la distribución equitativa de estos beneficios promueve la paz.

El informe destaca que una gestión sostenible del agua mejora la salud, la seguridad alimentaria, la protección contra desastres, la educación y el desarrollo económico. En el contexto de Aratoca, esto puede utilizarse para argumentar la importancia de una gestión integrada del agua para mejorar la calidad de vida y fomentar el desarrollo local. Se puede relacionar con cómo la gestión del agua puede contribuir a la paz social y la prosperidad en el municipio. (Naciones Unidas, 2024).

#### **Evaluación de los recursos hídricos en España**

En España, se han realizado investigaciones sobre la planificación y gestión de los recursos hídricos. Estos estudios abordan temáticas como la metodología implementada, los ámbitos territoriales contemplados y los beneficios generados por una gestión sostenible del agua. Entre algunos están: “Evaluando los beneficios generados y las estrategias aplicadas.

(Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023)”, “Nueva evaluación del impacto futuro del cambio climático en los recursos hídricos en España” Barranco, L., Dimas, M., Jiménez, A., & Estrada, F. (2018) “La evaluación de los recursos hídricos en el Libro Blanco del Agua en España” Teodoro Estrela Monreal; Francisco Cabezas Calvo-Rubio; Federico Estrada Lorenzo *Ingeniería del agua* (1999) 6 (2): 125–138.”

Estos estudios en España sobre la planificación y gestión de los recursos hídricos pueden ofrecer ejemplos de metodologías exitosas que podrían adaptarse para Aratoca. Se pueden utilizar para comparar las prácticas implementadas en Aratoca, evaluando los beneficios generados y las estrategias aplicadas.

### **Gestión integral del recurso hídrico en Colombia**

En Colombia, se ha explorado la gestión integral del recurso hídrico, considerando la disponibilidad y calidad del agua que pueden ser referencia para analizar cómo se han aplicado estrategias para satisfacer la demanda y garantizar la sustentabilidad del recurso. Entre algunos estudios encontramos “Roa-García y Brown (2011): Participación comunitaria y factores ecológicos en la gestión del agua” se centran en la cuenca del río Quindío, evaluando cómo la gestión integral de los recursos hídricos puede ser más efectiva cuando se consideran tanto los aspectos ecológicos como la participación comunitaria. Los autores señalan que, en áreas rurales de Colombia, las comunidades dependen en gran medida de los recursos hídricos locales, y la sostenibilidad de estos recursos está vinculada a la interacción entre el ecosistema y las actividades humanas. Un hallazgo clave es que las prácticas agrícolas no sostenibles, como el uso excesivo de agroquímicos y la expansión agrícola hacia zonas de conservación, pueden tener un impacto negativo en la calidad y cantidad del agua. Sin embargo, el estudio demuestra que cuando las comunidades participan activamente en la toma de decisiones sobre el manejo del

agua, la gestión se vuelve más eficiente y equitativa. Los autores recomiendan la creación de programas educativos que fomenten el uso sostenible del suelo y del agua, la restauración de áreas degradadas, y la promoción de prácticas agrícolas que sean compatibles con la conservación de cuencas hidrográficas.

“Restrepo-Tarquino et al. (2017): Gobernanza participativa en la cuenca del río Cauca” presentan un enfoque holístico para la gestión integral del recurso hídrico en la cuenca del río Cauca, una de las más importantes en Colombia tanto por su extensión como por su relevancia económica y ambiental. El estudio examina cómo la falta de coordinación entre los actores locales y las autoridades ambientales ha afectado la calidad del agua y exacerbados problemas como la contaminación industrial y la pérdida de biodiversidad. El estudio propone un modelo de gobernanza participativa, en el que las comunidades indígenas, las asociaciones de agricultores, las entidades ambientales y los gobiernos locales colaboran en la toma de decisiones. Este enfoque no solo asegura que las decisiones sobre el uso del agua se adapten a las necesidades locales, sino que también fomenta la responsabilidad compartida en la conservación de los recursos hídricos.

Entre las estrategias de gestión propuestas por los autores se incluyen:

- Monitoreo comunitario del agua, que permite detectar a tiempo las fuentes de contaminación.
- Planes de gestión territorial que integren el uso del suelo y la protección de las cuencas.
- Proyectos de reforestación y conservación en áreas clave para la recarga hídrica, como los páramos y bosques andinos.

Este enfoque promueve una visión a largo plazo que no solo aborda los problemas actuales de la cuenca del río Cauca, sino que también mejora la resiliencia de las comunidades frente a los efectos del cambio climático.

“Rodríguez-Llovera et al. (2015): Desafíos de la gestión integral del recurso hídrico en Antioquia” este estudio de Rodríguez-Llovera et al. (2015) aborda los desafíos y oportunidades en la implementación de políticas de gestión integral del recurso hídrico en el departamento de Antioquia. La región enfrenta una serie de problemas asociados a la contaminación de fuentes hídricas debido a la actividad minera, la expansión urbana descontrolada y la deforestación en áreas de cuencas hidrográficas. Los autores señalan que la gestión fragmentada y la falta de una coordinación efectiva entre las diferentes instituciones encargadas del manejo del agua son barreras críticas para la sostenibilidad hídrica en Antioquia. A pesar de la existencia de marcos legales sólidos, como el Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (PNGIRH), la implementación a nivel local sigue siendo limitada debido a la falta de capacidades técnicas, financiamiento y educación ambiental. El estudio recomienda la creación de plataformas de gestión colaborativa que incluyan a todos los actores relevantes (gobiernos locales, comunidades, sector privado y organizaciones no gubernamentales) para coordinar la planificación y el uso sostenible de los recursos hídricos. Además, sugiere implementar sistemas de pago por servicios ambientales que incentiven la conservación de cuencas hidrográficas críticas y la reducción de actividades contaminantes. Un aspecto clave de la investigación es el uso de tecnologías de monitoreo para mejorar la gestión del agua. Esto incluye el uso de sensores y herramientas de modelación hidrológica que permiten a las autoridades locales identificar rápidamente las áreas en riesgo y priorizar acciones de mitigación. Este estudio es relevante para analizar cómo las estrategias nacionales para la gestión del agua se han aplicado en el contexto

local de Aratoca. Se puede usar para evaluar si las políticas implementadas en el municipio están alineadas con las mejores prácticas recomendadas a nivel nacional y cómo han abordado la disponibilidad y calidad del agua. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2023).

### **Cambio climático y recursos hídricos**

El cambio climático, junto con el crecimiento demográfico y el desarrollo industrial, representan algunas de las principales amenazas para la disponibilidad y conservación de los recursos hídricos a nivel global. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en su informe AR5 Synthesis Report: Climate Change (IPCC, 2014), destaca que el cambio climático ha alterado considerablemente los patrones climáticos en todo el mundo. Este fenómeno no solo ha afectado las temperaturas, sino también los regímenes de precipitaciones, lo que tiene un impacto directo en la disponibilidad de agua dulce. Uno de los efectos más preocupantes del cambio climático es la alteración de los ciclos hidrológicos. En algunas regiones, la creciente intensidad de las lluvias provoca inundaciones y la consecuente pérdida de recursos hídricos debido a la rápida escorrentía superficial. En otras zonas, las sequías prolongadas reducen significativamente la cantidad de agua disponible para el consumo humano, la agricultura y la industria. De acuerdo con el IPCC (2014), se espera que las zonas áridas y semiáridas se vean particularmente afectadas, mientras que los ecosistemas de alta montaña, donde se encuentran importantes reservas de agua dulce en forma de nieve y glaciares, están en peligro debido al derretimiento acelerado causado por el calentamiento global.

El crecimiento demográfico y el desarrollo industrial agravan aún más la situación. A medida que la población mundial continúa aumentando, también lo hace la demanda de agua, tanto para el consumo directo como para actividades industriales y agrícolas. Este

aumento de la demanda, combinado con la reducción de la oferta provocada por los cambios climáticos, ejerce una presión sin precedentes sobre los recursos hídricos. Según el IPCC (2014), para el año 2050, la demanda de agua podría superar en muchos lugares la oferta disponible, especialmente en regiones que ya enfrentan estrés hídrico. En el caso específico del municipio de Aratoca, la situación no es diferente. Ubicado en una región que podría ser vulnerable a los efectos del cambio climático, Aratoca enfrenta una serie de desafíos en cuanto a la gestión de sus recursos hídricos. A medida que las temperaturas aumentan y los patrones de precipitación se vuelven menos predecibles, la oferta de agua en este municipio podría verse significativamente afectada. Además, las demandas crecientes de agua para el consumo humano, la agricultura y el turismo pueden agravar el problema.

El IPCC (2014) destaca que los pequeños municipios y áreas rurales, como Aratoca, deben desarrollar estrategias de adaptación que les permitan mitigar los impactos negativos del cambio climático en sus recursos hídricos. Estas estrategias podrían incluir el fortalecimiento de la infraestructura para el almacenamiento de agua, la implementación de técnicas de riego más eficientes, la protección y restauración de las cuencas hidrográficas locales, y la promoción de prácticas de conservación del agua entre la población. De acuerdo con investigaciones realizadas por Schneider et al. (2015), las estrategias de adaptación al cambio climático en áreas rurales deben ser específicas a las condiciones locales y considerar tanto las variables ambientales como las socioeconómicas. En el caso de Aratoca, sería necesario realizar estudios más detallados sobre la oferta y demanda actual de agua, así como sobre los posibles escenarios climáticos futuros, con el fin de diseñar políticas y planes de gestión que aseguren la sostenibilidad del recurso hídrico a largo plazo. Por otra parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017) resalta la importancia de la gestión

integral de los recursos hídricos en un contexto de cambio climático. Esto implica la coordinación entre diferentes sectores (como la agricultura, la industria y el turismo) y actores (gobierno, comunidades locales y empresas) para garantizar un uso sostenible y equitativo del agua. Para Aratoca, este enfoque podría ser clave, especialmente en la búsqueda de soluciones que involucren tanto a los agricultores como a los usuarios urbanos y el sector turístico.

Además, se deben considerar las medidas de mitigación del cambio climático, que buscan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir así los impactos futuros sobre el clima. En el caso de Aratoca, estas medidas podrían incluir la promoción de energías renovables, el uso eficiente de los recursos naturales y la protección de los ecosistemas locales, como los bosques y las zonas de recarga hídrica, que son esenciales para mantener el ciclo del agua en la región.

### **Plataformas y herramientas de evaluación**

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en España ofrece herramientas como: El Boletín Hidrológico Semanal, el Sistema de Información del Anuario de Aforos, y el Programa de Evaluación de los Recursos Hídricos procedentes de la Innovación (ERHIN) para estimar los recursos hídricos. Además, el Programa ALBERCA permite consultar datos recopilados para una gestión más eficaz del recurso hídrico. Las plataformas como el Boletín Hidrológico Semanal y el Programa ALBERCA en España ofrecen herramientas para la evaluación y gestión de los recursos hídricos. Se puede explorar cómo la adopción de herramientas similares en Aratoca podría mejorar la gestión del agua, facilitando la recolección de datos y la toma de decisiones basadas en evidencia. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023).

## **Investigaciones de referencia realizada en Colombia**

IDEAM (2015): En su estudio sobre el cambio climático y el recurso hídrico en Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) realizó un análisis detallado de las principales cuencas hidrográficas del país y los efectos potenciales del cambio climático en su disponibilidad. Este informe resalta la vulnerabilidad de diversas regiones del país frente a fenómenos climáticos extremos como sequías e inundaciones, así como la necesidad de implementar políticas de gestión integral de los recursos hídricos.

Roa-García y Brown (2009): Este estudio examina la sostenibilidad hídrica en zonas rurales de Colombia, con un enfoque especial en el manejo de cuencas hidrográficas y el impacto del cambio climático. Los autores encontraron que las comunidades rurales dependen en gran medida del acceso a fuentes hídricas locales, las cuales están amenazadas por la deforestación y el uso no sostenible del suelo.

Poveda et al. (2011): Este trabajo analiza los impactos del fenómeno de El Niño y La Niña en los recursos hídricos de Colombia. Los autores discuten cómo estos eventos climáticos extremos alteran los patrones de precipitación y, por lo tanto, afectan la disponibilidad de agua para consumo, agricultura e industria. Además, sugieren estrategias de adaptación y manejo para mitigar los efectos adversos en las cuencas hidrográficas más afectadas.

Armenteras et al. (2013): Este artículo explora el impacto de la deforestación sobre los recursos hídricos en la región amazónica de Colombia. Los autores señalan que la pérdida de cobertura forestal afecta la regulación hídrica y contribuye a la degradación de las cuencas, lo cual a su vez pone en riesgo la calidad y disponibilidad del agua para las comunidades locales.

Toro et al. (2017): Este estudio evalúa el impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua en el departamento de Cundinamarca. Los autores modelaron escenarios climáticos futuros y estimaron las variaciones

en el caudal de los ríos, concluyendo que la región experimentará una reducción significativa en sus recursos hídricos si no se toman medidas de adaptación.

## **Marco Teórico**

La gestión del agua en el Municipio de Aratoca, Santander, se enmarca en una intersección de desafíos y perspectivas intrincados que demandan un enfoque integral. Desde una perspectiva teórica, el modelo de "Vulnerabilidad Climática" (Adger et al., 2007) proporciona un marco conceptual sólido para entender cómo la variabilidad climática impacta directamente la disponibilidad y accesibilidad del agua en la región. La teoría sugiere que la exposición y la sensibilidad de Aratoca a eventos climáticos extremos pueden agravar la escasez del recurso hídrico, destacando la necesidad de estrategias de adaptación resilientes.

Desde un punto de vista conceptual, el enfoque se centra en el principio de "Gobernanza del Agua Participativa" (Pahl-Wostl, 2002), destacando la importancia de la participación comunitaria en la toma de decisiones relacionadas con la gestión del agua. Este enfoque conceptual aboga por un proceso participativo que involucre activamente a la comunidad local, autoridades municipales y expertos en el diseño e implementación de políticas hídricas. La colaboración y la comunicación efectiva entre estas partes interesadas son esenciales para desarrollar soluciones adaptativas que reflejen las necesidades específicas de Aratoca y promuevan la sostenibilidad a largo plazo en la gestión del agua.

### **Fuentes actuales de acceso al agua potable e infraestructura en Aratoca**

#### **Fuentes locales superficiales**

Río Chicamocha, el río Chicamocha es una de las principales fuentes de agua local superficial para Aratoca. A pesar de su importancia, su caudal ha experimentado variaciones significativas debido a las sequías prolongadas y la sobreexplotación (IDEAM, 2023). El río

Chicamocha suministra agua a varios sistemas de acueducto en la región, pero la reducción en su caudal ha limitado su capacidad para abastecer a toda la población.

Quebradas Locales, Aratoca cuenta con varias quebradas, como la Quebrada El Limón y la Quebrada La Rasa, que también contribuyen al suministro de agua. Sin embargo, estas quebradas a menudo enfrentan una baja disponibilidad de agua durante las temporadas secas (Alcaldía de Aratoca, 2020).

### **Fuentes de agua subterránea**

Acuíferos, Los acuíferos son una fuente crítica de agua para Aratoca. La región depende en gran medida de los acuíferos para suplir las deficiencias en el suministro de agua superficial. No obstante, la sobreexplotación de estos recursos ha llevado a una disminución en los niveles freáticos y a una posible salinización de las aguas subterráneas (UN-Water, 2024).

Pozos y Sistemas de Captación, Existen varios pozos y sistemas de captación de agua subterránea en Aratoca. Estos pozos proporcionan agua a zonas rurales y a comunidades que no están conectadas a los sistemas de acueducto. La calidad del agua de estos pozos varía y en algunos casos, se requiere tratamiento para asegurar su potabilidad (Alcaldía de Aratoca, 2023).

### **Infraestructura de distribución**

Sistemas de Acueducto, Aratoca cuenta con un sistema de acueducto que distribuye agua a gran parte de la población urbana. Este sistema utiliza agua de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas. Sin embargo, la infraestructura del acueducto enfrenta problemas de

mantenimiento y capacidad, lo que limita su eficacia, especialmente durante las sequías (Vanguardia, 2024).

Carrotanques, En respuesta a la crisis hídrica, las autoridades locales y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) han utilizado carrotanques para abastecer a las zonas más afectadas. Aunque estas medidas han sido efectivas a corto plazo, no resuelven el problema estructural del suministro de agua (Ministerio de Vivienda, 2023).

## **Marco Conceptual**

### **Escasez hídrica**

La escasez hídrica se refiere a la situación en la cual la demanda de agua supera la disponibilidad de recursos hídricos, generando dificultades en el acceso y suministro del recurso vital. Este fenómeno resulta de una compleja interacción de factores, como cambios climáticos, crecimiento demográfico y prácticas de gestión ineficientes (Mekonnen & Hoekstra, 2016). La escasez hídrica plantea amenazas significativas para la seguridad alimentaria, la salud pública y la sostenibilidad ambiental, siendo una preocupación global que requiere estrategias integrales de gestión del agua (UNESCO, 2018).

### **Recursos hídricos**

Los recursos hídricos comprenden todas las fuentes de agua en la Tierra, incluyendo cuerpos de agua superficiales y subterráneos, esenciales para el sustento de la vida y el desarrollo sostenible. Estos recursos son cruciales para satisfacer las necesidades humanas, industriales y ecológicas. La gestión eficaz de los recursos hídricos implica la conservación, distribución equitativa y uso sostenible del agua (Gleick, 1998). La disponibilidad y calidad de los recursos hídricos están influenciadas por factores geográficos, climáticos y antropogénicos, y su manejo responsable es esencial para abordar desafíos globales como la escasez y la degradación del agua (Gupta et al., 2019).

### **Cambio climático**

El cambio climático se refiere a alteraciones significativas y persistentes en los patrones climáticos a lo largo del tiempo, atribuidas principalmente a actividades humanas que liberan gases de efecto invernadero (IPCC, 2014). Este fenómeno global tiene consecuencias directas en

el aumento de las temperaturas, eventos climáticos extremos y cambios en los ecosistemas, afectando la vida humana y la biodiversidad (NASA, 2021). La comprensión y mitigación del cambio climático son imperativos para preservar la sostenibilidad ambiental y minimizar sus impactos adversos en la sociedad.

## **Sostenibilidad**

La sostenibilidad se refiere a la capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas (World Commission on Environment and Development, 1987). Implica un equilibrio armonioso entre aspectos económicos, sociales y ambientales para promover la resiliencia y la preservación a largo plazo (Holmberg et al., 1994). La sostenibilidad busca minimizar los impactos negativos en el medio ambiente, fomentar la equidad social y garantizar la viabilidad económica de las acciones y procesos (Leal Filho et al., 2019). Es un enfoque integral que aborda la interconexión de los sistemas naturales y humanos para poder lograr un desarrollo duradero y equitativo.

## **Fenómeno de El Niño**

Es un evento climático recurrente caracterizado por el calentamiento anómalo de las aguas superficiales del océano pacífico central y oriental, que afecta patrones meteorológicos globales (Trenberth, 1997). Este fenómeno desencadena condiciones climáticas extremas, como sequías, inundaciones y alteraciones en la temporada de lluvias, impactando significativamente la agricultura, la pesca y la seguridad alimentaria en diversas regiones del mundo (Cai et al., 2015). La variabilidad de El Niño se asocia con oscilaciones en la temperatura superficial del mar y la presión atmosférica, generando impactos climáticos a escala global (McPhaden, 1999).

Clima

El clima se refiere al patrón a largo plazo de las condiciones atmosféricas en una región específica, que incluye la temperatura, la humedad, la precipitación y los vientos. Es el resultado de la interacción compleja entre la atmósfera, los océanos, la tierra y otros factores climáticos (Peixoto & Oort, 1992). El estudio del clima implica analizar las tendencias y variaciones a lo largo del tiempo, proporcionando información valiosa para comprender el comportamiento climático y anticipar posibles cambios (Houghton et al., 2001). Los científicos utilizan datos climáticos recopilados a lo largo de décadas para modelar y prever patrones climáticos futuros, contribuyendo a la comprensión de fenómenos como el cambio climático (IPCC, 2014).

## EOT

El Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) es un instrumento de planificación que establece las directrices, normas, políticas y estrategias para la gestión del territorio en un área específica, ya sea a nivel municipal, regional o nacional. Este esquema tiene como objetivo promover un desarrollo territorial sostenible, equitativo y armónico, mediante la regulación del uso del suelo, la protección del medio ambiente, la organización del espacio urbano y rural, y la orientación de las actividades económicas y sociales. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2010).

## Planes de desarrollo

Los planes de desarrollo son documentos de carácter obligatorio elaborados por las administraciones locales, departamentales y el gobierno nacional, que establecen las políticas, estrategias y programas de acción a seguir durante un periodo de cuatro años. Estos planes buscan orientar el desarrollo económico, social y ambiental del territorio, así como la inversión

de recursos públicos en proyectos que contribuyan al bienestar y progreso de la población.

Presidencia de la república de Colombia. (2014).

## Marco Histórico

Aratoca es un municipio ubicado en el departamento de Santander, en Colombia, en la región andina en la cordillera oriental, presenta los siguientes límites: por el norte con los municipios de Piedecuesta y Los Santos, por el sur con el municipio de Curití, delimitado por las quebradas la Honda, Cantabara y la Laja, por el oriente con el municipio de Cepita y por el occidente: Con los municipios de Los Santos y Jordán. (Plan de desarrollo 2020-2023).

La historia de Aratoca se remonta a la época precolombina, cuando estaba habitada por la etnia Guane. Durante la época colonial, fue parte de la provincia de Vélez y posteriormente adquirió la categoría de municipio el 26 de enero de 1771, contando con 253 años de historia como municipio.

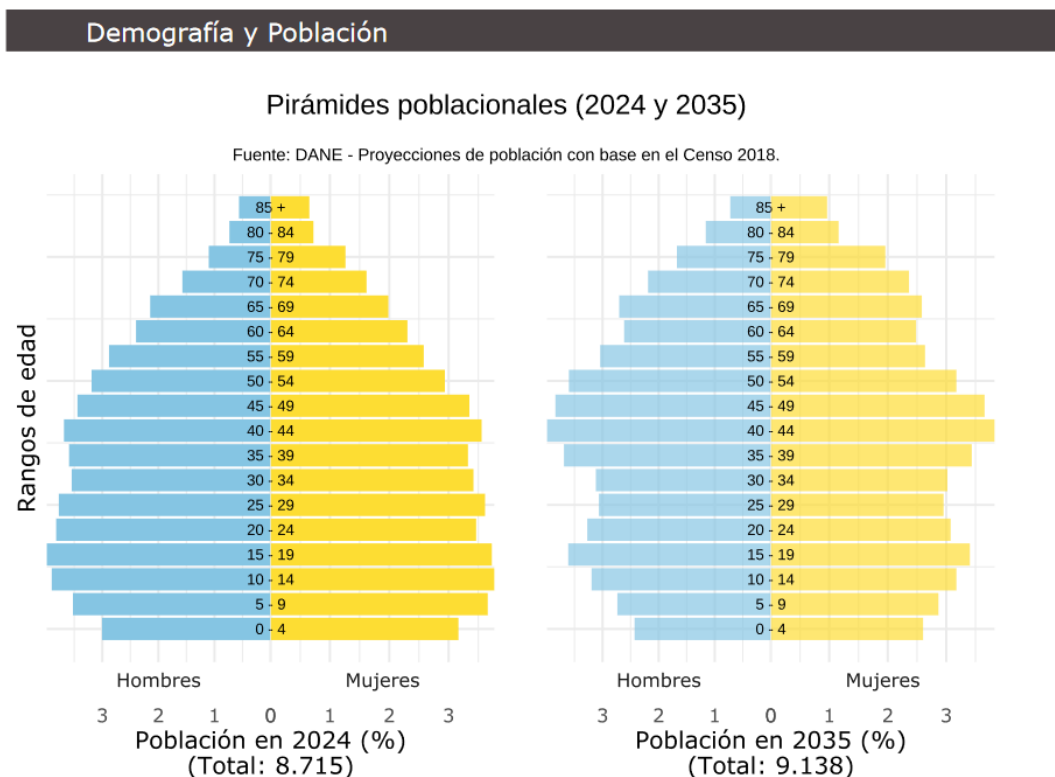
La economía de Aratoca se basa principalmente en la agricultura, destacándose los cultivos de café, cacao, caña de azúcar, plátano y cítricos. Además, la ganadería y la producción de lácteos son actividades importantes en la zona. El turismo también juega un papel significativo debido a su riqueza histórica y natural.

Aratoca presenta los siguientes datos de población (discriminados en figura 1) y superficie que dan una idea global de la población y el territorio:

- Población 2024: 8.715 habitantes
- Densidad Poblacional: 51,26 habitantes/km<sup>2</sup>
- Superficie: 170 km<sup>2</sup>
- (DANE, 2024)

**Figura 1**

Proyección poblacional Aratoca-Santander (2024-2035)



*Nota.* Población, rangos de edades y proyección poblacional del municipio. (Censo DANE 2018).

Departamento Nacional de Planeación consultado en 2024. *Ficha 68051.*

[https://terridata.blob.core.windows.net/fichas/Ficha\\_68051.pdf](https://terridata.blob.core.windows.net/fichas/Ficha_68051.pdf)

### Historia de la escasez hídrica en Aratoca

Aratoca, un municipio que dispone de abundantes recursos hídricos naturales, ha enfrentado históricamente problemas significativos relacionados con la escasez de agua. A pesar de contar con fuentes como el río Chicamocha y varias quebradas (Plan de desarrollo 2020-

2023), la región ha experimentado dificultades en el acceso al recurso hídrico, afectando la calidad de vida de sus habitantes.

A pesar de la presencia del río Chicamocha y varias quebradas, la distribución del agua no es equitativa en todo el municipio. La infraestructura para la captación, almacenamiento y distribución del agua es deficiente en muchas áreas (Plan de Desarrollo de Aratoca, 2020-2023). A la escasez se suma que al igual que en varias regiones de Colombia surgen variantes que agravan la situación, por ejemplo:

### **Contaminación**

Algunas fuentes hídricas han sido contaminadas por actividades agrícolas y ganaderas, lo que reduce la disponibilidad de agua potable (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

### **Cambio climático**

La variabilidad climática y los eventos extremos como sequías prolongadas han afectado los caudales de los ríos y quebradas, reduciendo la disponibilidad de agua (IDEAM, 2022).

### **Crecimiento poblacional**

El crecimiento de la población ha incrementado la demanda de agua, lo que ha agravado la escasez (DANE, 2024).

### **Afectaciones en la calidad de vida de los habitantes**

Salud pública

La escasez de agua potable ha provocado problemas de salud entre la población, incluyendo enfermedades gastrointestinales y de la piel debido al uso de agua no tratada (OPS, 2023).

### **Agricultura y economía local**

La falta de agua ha afectado la agricultura, que es una de las principales actividades económicas de la región, reduciendo la productividad de los cultivos y afectando los ingresos de las familias (FAO, 2023).

#### **Educación:**

En algunas áreas, la escasez de agua ha obligado a las escuelas a cerrar temporalmente, afectando la continuidad educativa de los niños y jóvenes (UNICEF, 2023).

### **Calidad de vida general**

La escasez de agua ha incrementado el tiempo y esfuerzo que las familias deben dedicar para obtener agua, reduciendo el tiempo disponible para otras actividades productivas o recreativas (Banco Mundial, 2022).

### **Historia desde el año 2010**

Desde la década de 2010, aratoca ha sido impactada por el fenómeno de el niño, un evento climático que ha exacerbado la sequía en la región. En 2015, el ministerio de vivienda emitió alertas sobre las dificultades que enfrentarían varios municipios del país, incluido aratoca, para acceder al agua debido a la intensa sequía causada por el niño (ministerio de vivienda, 2015).

Sequías prolongadas, el fenómeno de el niño ha intensificado las sequías en aratoca. Entre 2014 y 2016, el país experimentó uno de los episodios más severos, afectando gravemente el suministro de agua en el municipio. Según el IDEAM (2016), la reducción de las precipitaciones en la región fue de aproximadamente un 45%, lo que exacerbó la escasez de agua.

Alertas y medidas, en 2015 el ministerio de vivienda emitió alertas indicando que la intensa sequía causada por el niño afectaría la disponibilidad de agua en varios municipios, incluido aratoca. El gobierno implementó planes de contingencia para mitigar los efectos, pero las limitaciones en la infraestructura dificultaron la eficacia de estas medidas (ministerio de vivienda, 2015).

#### **Deficiencias en la infraestructura de suministro de agua:**

Redes de distribución obsoletas, la infraestructura de agua en aratoca es anticuada y en muchos casos ineficiente. La falta de mantenimiento y actualización de las redes de distribución ha provocado pérdidas significativas de agua. Según un informe de la contraloría general de la república (2017), las pérdidas de agua en el municipio eran de aproximadamente el 40% del total suministrado.

Capacidad de almacenamiento insuficiente, la capacidad de los sistemas de almacenamiento de agua es insuficiente para cubrir la demanda durante los períodos de sequía. Los tanques y reservorios existentes no pueden retener suficiente agua para garantizar un suministro continuo, lo que ha llevado a restricciones y racionamientos (plan de desarrollo de aratoca, 2020-2023).

#### **Crecimiento demográfico y aumento de la demanda:**

Incremento de la población, desde 2010 la población de aratoca ha crecido significativamente, lo que ha aumentado la demanda de agua. Según el DANE (2024), la población del municipio aumentó de 7,500 habitantes en 2010 a 8,715 en 2024, incrementando la presión sobre los recursos hídricos disponibles.

Desarrollo urbano, el crecimiento urbano ha requerido una mayor provisión de servicios públicos, incluido el agua. La expansión de áreas residenciales y comerciales ha superado la capacidad de la infraestructura existente (banco mundial, 2022).

### **Problemas de contaminación del agua:**

Contaminación por actividades agrícolas, las prácticas agrícolas intensivas en la región han contribuido a la contaminación de las fuentes de agua. El uso de pesticidas y fertilizantes químicos ha contaminado ríos y quebradas, reduciendo la calidad del agua disponible para consumo humano (ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2023).

Vertidos de aguas residuales, la falta de un sistema adecuado de tratamiento de aguas residuales ha llevado a la contaminación de fuentes hídricas. En muchas áreas, las aguas residuales son vertidas directamente en los cuerpos de agua sin tratamiento previo, agravando los problemas de salud pública (OPS, 2023).

### **Declaraciones de calamidad pública**

En 2020, la situación en aratoca se agravó, requiriendo acciones de abastecimiento mediante carrotanques debido a la sequía. Esta situación llevó a declarar calamidad pública en el municipio (RCN RADIO, 2020). A lo largo de la década, estas declaraciones se han vuelto recurrentes, reflejando la persistente crisis hídrica en la región.

#### Calamidad pública por sequía (2010-2011)

Debido al impacto del fenómeno de el niño, aratoca enfrentó una sequía severa entre 2010 y 2011, lo que llevó a la declaración de calamidad pública. La falta de precipitaciones redujo significativamente los caudales de los ríos y quebradas, afectando el suministro de agua potable y la agricultura. (ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. 2011)

#### Calamidad pública por inundaciones (2011)

En el mismo año, las lluvias torrenciales causadas por el fenómeno de la niña provocaron inundaciones y deslizamientos de tierra en diversas partes de aratoca. Las lluvias excesivas saturaron el suelo y desbordaron cuerpos de agua, causando daños a viviendas e infraestructuras. (IDEAM 2011).

#### Calamidad pública por deslizamientos de tierra (2014)

En 2014, las intensas lluvias provocaron deslizamientos de tierra en varias áreas montañosas de aratoca. Estos deslizamientos destruyeron viviendas, carreteras y cultivos, lo que llevó a las autoridades locales a declarar calamidad pública para acceder a recursos de emergencia. (unidad nacional para la gestión del riesgo de desastres 2014).

#### Calamidad pública por sequía (2015-2016)

La severa sequía ocasionada por el fenómeno de el niño entre 2015 y 2016 afectó gravemente a aratoca, provocando escasez de agua para consumo humano, agricultura y ganadería. Las autoridades declararon calamidad pública para implementar medidas de mitigación y obtener apoyo gubernamental. (ministerio de vivienda 2016).

#### Calamidad pública por inundaciones (2017)

En 2017, fuertes lluvias volvieron a causar inundaciones en aratoca, afectando viviendas y cultivos. La declaración de calamidad pública permitió a las autoridades movilizar recursos y asistencia para los afectados. (alcaldía de aratoca 2017).

Finales de 2020 y principios de 2021

La llegada de un nuevo episodio del fenómeno de el niño a finales de 2023 y comienzos de 2024 ha intensificado aún más la problemática de la escasez hídrica en aratoca (el país, 2024). Este fenómeno ha provocado condiciones climáticas extremas, como sequías, que han impactado significativamente la disponibilidad de agua en el municipio.

### **Respuestas institucionales**

Ante la persistente crisis, las autoridades locales y la unidad nacional para la gestión del riesgo de desastres (UNGRD) han tomado acciones inmediatas para abastecer a la población con carrotanques. Estas medidas, aunque necesarias, no han sido suficientes para solucionar el problema a largo plazo (UNGRD, 2018).

### **Distribución de agua con carrotanques**

Ante la escasez de agua potable, se implementó el uso de carrotanques para abastecer a las comunidades más afectadas. Esta medida se ejecutó especialmente durante los periodos de sequía más severos, como los ocurridos en 2015 y 2016.

Los carrotanques realizaron recorridos programados para entregar agua en distintos puntos estratégicos del municipio. Esta operación fue coordinada por la alcaldía de aratoca en colaboración con la UNGRD.

### **Construcción y rehabilitación de pozos subterráneos**

Se impulsó la construcción de nuevos pozos subterráneos y la rehabilitación de los existentes para aumentar la disponibilidad de agua potable, la UNGRD financió y supervisó estos proyectos, mientras que las autoridades locales se encargaron de identificar los sitios adecuados y gestionar los permisos necesarios, esta medida mejoró la disponibilidad de agua en algunas comunidades rurales, aunque en ocasiones la calidad del agua extraída no cumplía con los estándares de potabilidad debido a la contaminación de acuíferos (UNGRD, 2018).

### **Implementación de sistemas de captación de agua lluvia**

Para mitigar los efectos de la sequía, se promovió la instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua lluvia en viviendas y edificios públicos, la alcaldía de aratoca, con apoyo de la UNGRD, proporcionó materiales y capacitación a los residentes para la instalación de estos sistemas, estos sistemas ayudaron a reducir la dependencia de fuentes tradicionales de agua y proporcionaron una solución complementaria durante las temporadas de lluvia (plan de desarrollo de aratoca, 2020-2023).

### **Campañas de concienciación y educación sobre el uso eficiente del agua**

Se lanzaron campañas de concienciación para educar a la población sobre la importancia del uso eficiente y la conservación del agua, estas campañas incluyeron talleres, charlas en escuelas y comunidades, y distribución de material educativo, las campañas ayudaron a reducir el consumo per cápita de agua y promovieron prácticas sostenibles, aunque su efecto fue gradual y dependió de la participación de la comunidad (Alcaldía de Aratoca, 2021).

### **Planes de desarrollo y ordenamiento territorial**

A lo largo de los años, los planes de desarrollo y el esquema de ordenamiento territorial (EOT) del municipio han intentado abordar la problemática hídrica. Sin embargo, la eficacia de

estas políticas ha sido limitada, evidenciando la necesidad de una gestión más sostenible y estratégica de los recursos hídricos

### **Deficiencias en la infraestructura de agua potable**

Los planes de desarrollo han destacado la necesidad de modernizar y ampliar la infraestructura de agua potable para asegurar un suministro continuo y de calidad. A pesar de estos planes, muchas comunidades de aratoca aún dependen de sistemas de distribución anticuados y propensos a fallas. Las tuberías y reservorios no han sido adecuadamente mantenidos, lo que resulta en frecuentes interrupciones del servicio (plan de desarrollo de aratoca, 2020-2023).

#### **Falta de gestión integral del recurso hídrico**

El EOT incluye estrategias para la gestión integral de los recursos hídricos, abarcando la conservación de cuencas y la protección de fuentes de agua. En la práctica, estas estrategias no se han implementado de manera efectiva. La falta de coordinación entre las entidades encargadas y la escasa participación comunitaria han limitado el éxito de estas políticas (contraloría general de la república, 2018).

### **Problemas de contaminación del agua**

Se han propuesto medidas para controlar la contaminación de las fuentes hídricas mediante la regulación de actividades agrícolas y ganaderas. La contaminación del agua sigue siendo un problema grave en aratoca. El uso indiscriminado de pesticidas y fertilizantes ha deteriorado la calidad del agua en ríos y quebradas, afectando su potabilidad (ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2023).

### **Educación y concienciación ambiental**

Los planes de desarrollo y el EOT enfatizan la importancia de la educación y concienciación ambiental para promover el uso sostenible del agua. Las campañas educativas han sido esporádicas y no han logrado un impacto significativo. La falta de recursos y de un enfoque sistemático ha impedido que estas iniciativas se traduzcan en cambios sostenibles en el comportamiento de los residentes (UNICEF, 2023).

### **Adaptación al cambio climático**

El EOT y los planes de desarrollo han identificado la necesidad de adaptarse al cambio climático mediante la implementación de sistemas de captación de agua lluvia y la reforestación de cuencas. Las medidas de adaptación han sido insuficientes y fragmentadas. La falta de financiamiento y de apoyo técnico ha limitado la capacidad de Aratoca para implementar estas estrategias de manera efectiva (IDEAM, 2022).

## **Marco Legal**

### **Constitución política de Colombia**

La constitución política de Colombia de 1991 reconoce en su artículo 79 el derecho a gozar de un ambiente sano, lo cual incluye el acceso al agua potable. Además, el artículo 365 establece que los servicios públicos, incluidos los servicios de agua potable y saneamiento básico, son inherentes a la finalidad social del estado, y es deber del estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional.

### **Ley 142 de 1994 - régimen de los servicios públicos domiciliarios**

Esta ley establece el régimen para la prestación de los servicios públicos domiciliarios en Colombia, incluyendo el servicio de acueducto. La ley regula la organización, administración, prestación y control de los servicios públicos, buscando garantizar su acceso a toda la población, con criterios de eficiencia, calidad y continuidad.

### **Decreto 1575 de 2007 - sistema para la protección y control de la calidad del agua**

#### **Agua para el consumo humano**

El decreto 1575 de 2007 establece los requisitos y procedimientos para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano en Colombia. Define las responsabilidades de las entidades prestadoras de los servicios de acueducto y de las autoridades sanitarias en la vigilancia y control de la calidad del agua, asegurando que el agua distribuida a la población cumpla con los estándares de calidad establecidos.

### **Ley 373 de 1997 - uso eficiente y ahorro del agua**

La ley 373 de 1997 tiene como objetivo promover el uso eficiente y el ahorro del agua en todas las actividades humanas. Establece la obligación para las entidades prestadoras del servicio de acueducto de implementar programas de uso eficiente y ahorro del agua, así como la necesidad de realizar campañas educativas y de concientización sobre la importancia de la conservación del recurso hídrico.

### **Plan Nacional de Desarrollo**

El plan nacional de desarrollo, que se actualiza cada cuatro años, incluye estrategias y metas específicas para mejorar el acceso al agua potable y el saneamiento básico en todo el territorio nacional. Estas estrategias buscan fortalecer la infraestructura de acueducto y alcantarillado, mejorar la gestión de los recursos hídricos y asegurar la sostenibilidad de los servicios de agua potable.

### **Esquema de ordenamiento territorial (EOT)**

El EOT es un instrumento de planificación territorial que define las políticas y estrategias para el uso del suelo y la gestión de los recursos naturales a nivel municipal. En el caso de aratoca, el EOT incluye directrices específicas para la protección de las fuentes hídricas y la mejora del acceso al agua potable, considerando las particularidades geográficas y climáticas del municipio.

### **Protección de cuencas hidrográficas**

El EOT establece zonas de protección alrededor de las cuencas de los ríos Chicamocha y sus afluentes, así como de las quebradas que atraviesan el municipio. Estas áreas están destinadas a preservar la calidad del agua y evitar la contaminación por actividades agrícolas y ganaderas.

Se prohíbe el uso de productos químicos en las zonas de protección y se implementan prácticas de manejo sostenible de tierras en estas áreas. (plan de ordenamiento territorial de aratoca, 2020)

### **Desarrollo de infraestructura hídrica**

El EOT incluye directrices para la construcción y modernización de infraestructura hídrica, como la rehabilitación de sistemas de acueducto y alcantarillado, así como la construcción de nuevos reservorios y plantas de tratamiento de agua. Se priorizan proyectos de infraestructura que mejoren el acceso al agua potable en las zonas rurales y urbanas, con énfasis en la sostenibilidad y eficiencia. (alcaldía de aratoca, 2020)

### **Promoción de sistemas de captación de agua de lluvia**

Se fomenta la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia en viviendas y edificios públicos para complementar el suministro de agua potable durante las épocas de sequía. La alcaldía ofrece incentivos y asistencia técnica para la instalación de estos sistemas, con el objetivo de reducir la dependencia de las fuentes de agua tradicionales. (plan de desarrollo de aratoca, 2020).

### **Reforestación y conservación de áreas verdes**

Se establecen programas de reforestación y conservación en las áreas alrededor de las fuentes hídricas para mejorar la captación de agua y la estabilidad de los suelos. La implementación incluye la siembra de especies nativas y la restauración de zonas deforestadas. Estas actividades buscan reducir la erosión y mejorar la calidad del agua. (IDEAM, 2022).

## **Educación y capacitación comunitaria**

El EOT promueve la educación y capacitación de la comunidad sobre la importancia de la conservación del agua y el uso eficiente del recurso hídrico. Se realizan talleres, campañas educativas y programas de formación en colegios y comunidades para sensibilizar a la población sobre prácticas sostenibles. (UNICEF, 2023).

El marco legal colombiano proporciona una base sólida para garantizar el acceso al agua potable, a través de leyes y decretos que promueven la eficiencia, calidad y sostenibilidad del servicio. En el contexto de aratoca, estas normativas han sido fundamentales para enfrentar los desafíos relacionados con la escasez hídrica y mejorar la gestión de los recursos hídricos, asegurando que la población tenga acceso a este recurso vital.

## Desarrollo De Los Objetivos

Análisis del comportamiento y las implicaciones de la gestión del recurso hídrico en el municipio de Aratoca, Santander (2014-2024)

### Descripción Geográfica y Climática del Municipio

#### Localización de Aratoca en Santander

Aratoca es un municipio situado en el departamento de Santander, Colombia. Se encuentra en la región nororiental del país y forma parte de la provincia de Guanentá. La ubicación geográfica de Aratoca se caracteriza por su altitud y relieve montañoso, lo que influye directamente en la disponibilidad de recursos hídricos, este municipio se encuentra dividido territorialmente en lo que denomina “Microrregiones y zonificación rural”, tal como se aprecia en la figura 2; a su vez la cabecera municipal presenta un ordenamiento propio (Figura 3) fruto de sus historia y decisiones administrativas.

Aratoca es un municipio situado en el departamento de Santander, en la región nororiental de Colombia. Su historia se remonta a la época de la colonización española, cuando la región comenzó a ser explorada por los conquistadores en el siglo XVI. Sin embargo, la fundación formal del municipio de Aratoca se atribuye al siglo XVII. La localidad se estableció como una comunidad agrícola y ganadera en el año 1791, bajo la influencia de la administración colonial española (González & Gómez, 2020).

La región de Aratoca fue inicialmente habitada por comunidades indígenas que pertenecían a la cultura Guane, que ocupaba gran parte del actual Santander. Estos grupos indígenas tuvieron un impacto significativo en la configuración cultural y económica de la zona antes de la llegada de los colonizadores españoles (Rivas, 2019). La colonización trajo consigo

cambios importantes en la estructura social y económica de la región, incluyendo la introducción de nuevas formas de agricultura y ganadería.

### **Desarrollo durante la época republicana**

Con la independencia de Colombia en 1810, Aratoca, como muchas otras regiones del país, experimentó una serie de transformaciones políticas y sociales. Durante el período republicano, el municipio pasó a formar parte del nuevo estado colombiano y comenzó a integrarse en el sistema político y administrativo del país. La región de Santander, incluida Aratoca, fue un importante centro de actividad durante las luchas independentistas y las subsecuentes guerras civiles del siglo XIX (Gobernación de Santander, 2023).

A lo largo del siglo XIX, Aratoca se consolidó como un importante centro agrícola, con énfasis en la producción de café, caña de azúcar y otros cultivos. La economía local comenzó a diversificarse, y la región experimentó un crecimiento moderado en términos de infraestructura y desarrollo (Universidad de Santander, 2023), aprovechando su amplia extensión rural de más de 3 mil hectáreas (Ver figura 4). Las mejoras en las rutas de transporte y comunicación facilitaron el comercio y la interacción con otras partes del país.

### **Transformaciones del Siglo XX y XXI**

En el siglo XX, Aratoca continuó su desarrollo económico y social, enfrentando diversos desafíos y oportunidades. La construcción de infraestructura básica, como carreteras y sistemas de agua, se convirtió en una prioridad para el municipio. La región también comenzó a experimentar el impacto de la modernización y la urbanización, lo que trajo consigo cambios significativos en la estructura económica y social de la comunidad (IDEAM, 2023).

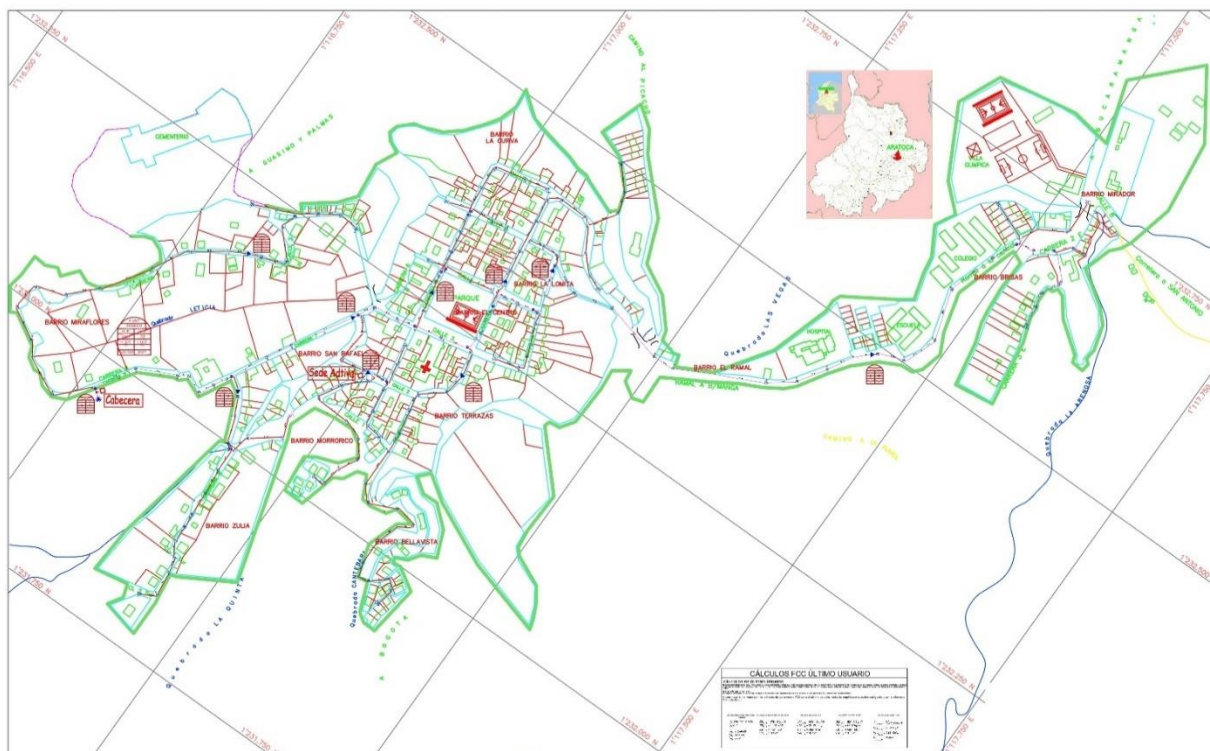
Durante la segunda mitad del siglo XX, Aratoca se vio afectada por fenómenos económicos y ambientales. La crisis del café en las décadas de 1980 y 1990 tuvo un impacto negativo en la economía local, dado que el cultivo de café era una de las principales actividades económicas del municipio (González & Gómez, 2020). Sin embargo, a pesar de estos desafíos, Aratoca continuó su proceso de modernización y diversificación económica.

En el siglo XXI, aratoca ha enfrentado problemas relacionados con la escasez de agua y la gestión de recursos naturales. La escasez de agua ha afectado tanto a la agricultura como a la salud pública, lo que ha llevado al municipio a implementar diversas medidas para mejorar la infraestructura hídrica y abordar los problemas ambientales (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023). La implementación de proyectos de infraestructura, como la rehabilitación de acueductos y sistemas de alcantarillado, ha sido una parte importante de los esfuerzos recientes para mejorar la calidad de vida en la región (gobernación de Santander, 2023).



**Figura 3**

*Mapa sector urbano Aratoca, Santander*



*Nota.* Mapa plano distribución urbana cabecera municipal. Municipio de Aratoca. (2017).

( <https://www.aratoca-santander.gov.co/municipio/mapas-de-aratoca> )

**Figura 4***Clasificación del territorio*

CATEGORIAS	TIPO	MODALIDADES	EXTENSIÓN (Ha.)
URBANO	20,35	Urbano	18.46
		Protección	1.89
EXPANSIÓN	1.5	Expansión urbana	1.5
RURAL	16.338.58	Producción	12.820,58
		Protección	3.518
		Corredor vial de servicios.	No define.
<b>Total área del municipio: 16.360,43. Ha.</b>			

*Nota.* Clasificación urbana y rural del territorio del municipio de Aratoca. Gobernación de Santander. (2001). Esquema de ordenamiento territorial del municipio de Aratoca. ( <https://smi-geoportal.santander.gov.co/smi/docs/EM%20ARATOCA.pdf> )

Características climáticas y geográficas que afectan la disponibilidad de agua

Aratoca presenta un clima bimodal, con dos temporadas de lluvia (abril-mayo y septiembre-noviembre) y dos de sequía (enero-marzo y junio-agosto). La variabilidad climática afecta significativamente la disponibilidad de agua, ya que las sequías pueden reducir drásticamente el caudal de ríos y quebradas.

Clima Bimodal:

Aratoca presenta un clima bimodal, con dos temporadas de lluvia y dos de sequía. Las temporadas de lluvia se extienden de abril a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que las

temporadas de sequía se presentan de enero a marzo y de junio a agosto. Esta variabilidad en la precipitación tiene un impacto considerable en la disponibilidad de agua.

**Temporada de Lluvia:** Durante las temporadas de lluvia, las precipitaciones pueden alcanzar entre 800 y 1,200 mm anuales (González & Gómez, 2020). Estas lluvias contribuyen al incremento de los caudales de ríos y quebradas, y facilitan la recarga de acuíferos.

**Temporada de Sequía:** En contraste, las temporadas de sequía pueden reducir las precipitaciones a menos de 500 mm anuales (IDEAM, 2023). Esta disminución en las precipitaciones provoca una reducción significativa en el caudal de ríos y quebradas, afectando la disponibilidad de agua para consumo y agricultura.

## **Geografía**

La geografía montañosa de aratoca, ubicada a una altitud aproximada de 1,600 metros sobre el nivel del mar, también influye en la disponibilidad de agua:

**Altitud y montañas:** la altitud contribuye a una mayor concentración de precipitaciones en las zonas elevadas (Rivas, 2019). Sin embargo, las pendientes pronunciadas pueden aumentar el escurrimiento superficial y reducir la infiltración, afectando la recarga de acuíferos.

**Cuencas hidrográficas:** las quebradas y ríos en aratoca dependen en gran medida de la variabilidad estacional de las precipitaciones. Durante las temporadas de sequía, el caudal de estos cuerpos de agua puede disminuir drásticamente, lo que pone presión sobre la gestión de los recursos hídricos.

## **Impacto en la disponibilidad de agua**

La combinación de un clima bimodal con variaciones estacionales significativas y una topografía montañosa provoca fluctuaciones en la disponibilidad de agua. Las sequías prolongadas pueden llevar a una disminución drástica del caudal de los cuerpos hídricos locales, afectando el suministro de agua para diferentes usos (IDEAM, 2023).

## **Situación hídrica actual**

### **Fuentes de agua disponibles (Ríos, Quebradas, Acuíferos)**

Aratoca cuenta con varias fuentes de agua, incluyendo ríos como el Chicamocha y quebradas que suministran agua a las comunidades rurales. Sin embargo, la sobreexplotación y la contaminación han afectado la calidad y disponibilidad de estos recursos.

Ríos: el río Chicamocha es uno de los principales cuerpos de agua en la región de aratoca. Este río tiene un caudal promedio de 40 m<sup>3</sup>/s en su tramo cercano a aratoca (González & Gómez, 2020). Su importancia radica en su suministro de agua para uso agrícola y consumo humano.

Quebradas: aratoca también cuenta con varias quebradas que proporcionan agua a las comunidades rurales. Las quebradas como la quebrada la guacamaya y la quebrada la arenosa son cruciales para el abastecimiento local. Sin embargo, estas quebradas presentan una variabilidad estacional en su caudal, que puede fluctuar entre 0.5 y 2 m<sup>3</sup>/s dependiendo de las precipitaciones (IDEAM, 2023).

Acuíferos: Los acuíferos en Aratoca se encuentran a una profundidad media de 150 metros y tienen una capacidad de almacenamiento limitada. La recarga de estos acuíferos está influenciada por las precipitaciones estacionales y la geografía montañosa (Rivas, 2019).

#### Problemas Actuales:

Sobreexplotación: La sobreexplotación de estos recursos hídricos, especialmente en la agricultura, ha llevado a una disminución en el caudal de los ríos y quebradas. Se estima que la extracción de agua para riego ha reducido el caudal del río Chicamocha en un 25% durante la temporada seca (González & Gómez, 2020).

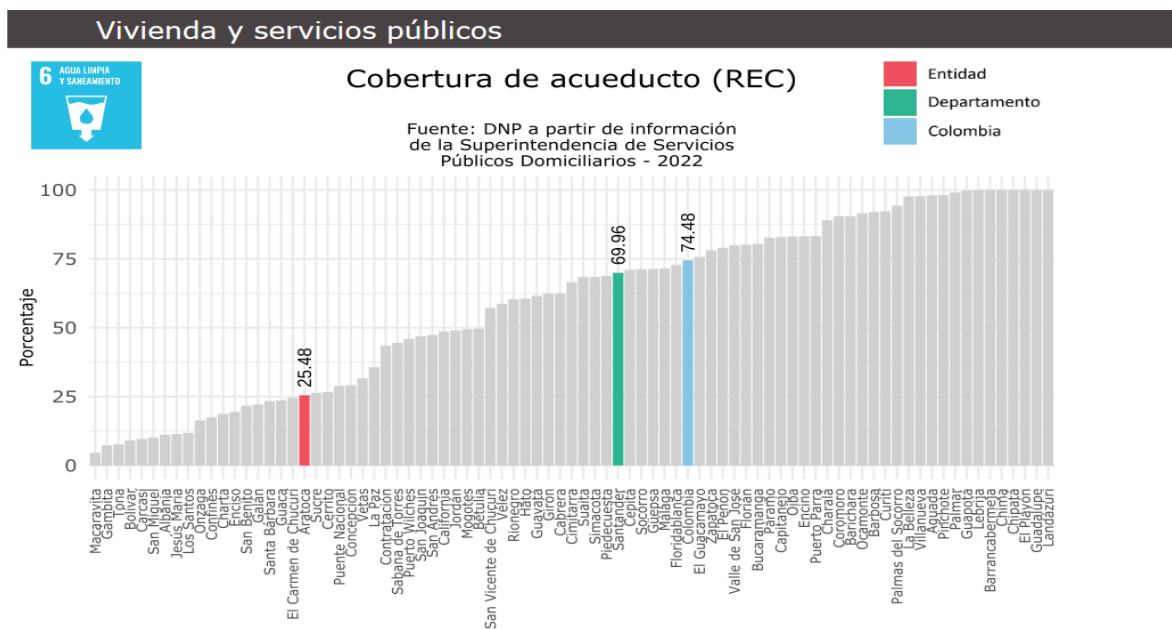
Contaminación: La contaminación también es un problema significativo. Las actividades agrícolas y el vertido de desechos industriales han afectado la calidad del agua en las quebradas y ríos. Un estudio reciente indica que el nivel de contaminantes en el río Chicamocha supera los límites permisibles en un 15% (IDEAM, 2023).

#### **Estadísticas sobre la disponibilidad y calidad del agua**

Según el IDEAM (2023), la disponibilidad de agua en Aratoca ha disminuido un 20% en la última década debido a la sequía y la sobreexplotación. Además, el 40% de las muestras de agua analizadas presentaron niveles de contaminación superiores a los permitidos por la normativa nacional, a ello se suma que Aratoca no cuenta con cobertura aceptable de cobertura de acueducto, estando muy por debajo de la media departamental (Ver figura 5).

**Figura 5**

Cobertura acueducto Aratoca-Santander



*Nota.* Cobertura de acueductos, comparativo de vivienda y acueducto. (2022). Departamento Nacional de Planeación. Datos consultados en 20234 en *Ficha 68051*. ([https://terridata.blob.core.windows.net/fichas/Ficha\\_68051.pdf](https://terridata.blob.core.windows.net/fichas/Ficha_68051.pdf))

## Disponibilidad de agua

Según el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM, 2023), la disponibilidad de agua en Aratoca ha disminuido en un 20% en la última década. Esta reducción se debe principalmente a la combinación de sequías prolongadas y la sobreexplotación de los recursos hídricos. Las estadísticas indican que el caudal de los ríos y quebradas en la región ha experimentado una disminución significativa, afectando el suministro de agua para consumo y actividades agrícolas.

## **Calidad del agua**

En cuanto a la calidad del agua, el IDEAM (2023) informa que el 40% de las muestras de agua analizadas en Aratoca presentan niveles de contaminación que superan los límites permitidos por la normativa nacional. Los principales contaminantes incluyen nitratos, coliformes fecales y metales pesados, que se deben a la actividad agrícola intensiva y al vertido de desechos industriales en las fuentes de agua locales.

## **Problemas de escasez y calidad del agua**

La combinación de factores climáticos y humanos ha llevado a problemas recurrentes de escasez de agua. Las sequías prolongadas y la falta de infraestructura adecuada para el almacenamiento y distribución del agua han agravado la situación. La calidad del agua también se ha visto afectada por la contaminación de fuentes superficiales y subterráneas.

## **Problemas de escasez de agua**

La escasez de agua en aratoca se ha visto exacerbada por una combinación de factores climáticos y humanos. Las sequías prolongadas han reducido significativamente la disponibilidad de agua en la región. Según el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM, 2023), la disponibilidad de agua ha disminuido en un 20% en la última década debido a estas sequías.

Además, la falta de infraestructura adecuada para el almacenamiento y distribución del agua agrava la escasez. La carencia de sistemas eficientes para la captación y almacenamiento de agua de lluvia y la infraestructura obsoleta para la distribución contribuyen a una gestión ineficaz

de los recursos hídricos (González & Gómez, 2020). Esto resulta en un suministro de agua inadecuado para las necesidades de las comunidades, especialmente durante las temporadas de sequía.

### **Problemas de calidad del agua**

La calidad del agua en aratoca también enfrenta serios problemas. La contaminación de fuentes superficiales y subterráneas es un desafío importante. El IDEAM (2023) informa que el 40% de las muestras de agua analizadas presentan niveles de contaminación que superan los límites permisibles establecidos por la normativa nacional. Los principales contaminantes incluyen nitratos provenientes de fertilizantes agrícolas, coliformes fecales, y metales pesados debido al vertido de desechos industriales.

La falta de tratamiento adecuado de aguas residuales y la disposición inadecuada de desechos han contribuido a esta situación de contaminación. Las fuentes de agua subterránea también están afectadas, con niveles de contaminación reportados en acuíferos que superan los estándares de calidad (Rivas, 2019).

### **Acciones implementadas por el gobierno local**

Proyectos de infraestructura (acueductos, alcantarillados)

El gobierno local ha implementado varios proyectos de infraestructura para mejorar el acceso al agua potable. Entre estos proyectos se incluyen la construcción y rehabilitación de acueductos y sistemas de alcantarillado.

Proyectos de acueductos:

El gobierno local de aratoca ha implementado varios proyectos para mejorar el acceso al agua potable mediante la construcción y rehabilitación de acueductos. Entre estos proyectos se incluye la rehabilitación del acueducto rural de la candelaria, que ha sido financiado parcialmente por la gobernación de Santander. Este proyecto ha permitido aumentar la capacidad de suministro de agua en un 30% para las comunidades rurales afectadas por la escasez (gobernación de Santander, 2023).

Adicionalmente, se ha llevado a cabo la expansión del acueducto de aratoca, que incluye la instalación de nuevas tuberías y la mejora de las estaciones de bombeo. Este proyecto ha permitido extender el servicio de agua potable a un 25% más de la población, mejorando significativamente el acceso al agua potable en áreas previamente desatendidas (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

#### Proyectos de alcantarillado:

En cuanto a los sistemas de alcantarillado, se ha implementado el proyecto de mejoramiento del sistema de alcantarillado de aratoca, que incluye la construcción de nuevas redes de alcantarillado y la rehabilitación de las existentes. Este proyecto, respaldado por la empresa de servicios públicos de aratoca, ha reducido en un 40% los problemas de desbordamiento y ha mejorado el tratamiento de aguas residuales (empresa de servicios públicos de aratoca, 2023).

Además, se ha desarrollado el programa de extensión de alcantarillado en áreas rurales, con el objetivo de proporcionar servicios de alcantarillado a comunidades rurales. Este programa ha beneficiado a aproximadamente 15 comunidades rurales, aumentando la cobertura del sistema de alcantarillado en un 20% (gobernación de Santander, 2023).

## Medidas temporales (uso de carrotanques)

Durante las sequías, el gobierno ha recurrido al uso de carrotanques para abastecer de agua a las comunidades más afectadas. Aunque esta medida ha proporcionado alivio temporal, no ha resuelto el problema a largo plazo.

### **Uso de carrotanques**

Durante las sequías prolongadas, el gobierno local de aratoca ha implementado el uso de carrotanques para proporcionar agua a las comunidades más afectadas. Esta medida temporal ha sido crucial para aliviar la escasez de agua en situaciones de emergencia. Según el informe de la gobernación de Santander (2023), se han desplegado carrotanques en aproximadamente 20 comunidades rurales, con un suministro total de 500,000 litros de agua por semana durante las temporadas secas.

Los carrotanques han permitido entregar agua a las áreas más críticas y asegurar el acceso a recursos hídricos básicos para los residentes. A pesar de la eficacia inmediata de esta medida, los informes sugieren que no ha resuelto el problema de forma definitiva. La dependencia de los carrotanques ha puesto de manifiesto la necesidad de soluciones más sostenibles a largo plazo para enfrentar la escasez de agua en la región (IDEAM, 2023).

### **Limitaciones de la medida**

Aunque el uso de carrotanques ha proporcionado un alivio temporal, las limitaciones son evidentes. La capacidad de los carrotanques para cubrir las necesidades de toda la población es limitada, y la logística involucrada en el transporte y distribución del agua puede ser compleja y costosa. Según un estudio del ministerio de vivienda, ciudad y territorio (2023), el costo de

operación y mantenimiento de los carrotanques puede ser hasta un 40% mayor que el de soluciones de infraestructura permanente.

Además, los carrotanques no abordan los problemas subyacentes de infraestructura hídrica ni la necesidad de estrategias de gestión sostenible de recursos hídricos. Por lo tanto, aunque son una solución temporal valiosa, no sustituyen la necesidad de inversiones en infraestructura a largo plazo y en gestión de recursos (González & Gómez, 2020).

### **Evaluación de la efectividad de estas acciones**

Las acciones implementadas han tenido resultados mixtos. Mientras que la infraestructura ha mejorado el acceso al agua para algunos hogares, las medidas temporales como el uso de carrotanques no han proporcionado una solución sostenible. La evaluación de la efectividad de estas acciones muestra la necesidad de estrategias más integrales y sostenibles.

### **Resultados de la infraestructura**

Las inversiones en infraestructura, como la construcción y rehabilitación de acueductos y sistemas de alcantarillado, han tenido un impacto positivo en el acceso al agua para muchos hogares en aratoca. Según el informe de la gobernación de Santander (2023), la rehabilitación del acueducto rural de la candelaria ha incrementado el suministro de agua en un 30% para las comunidades locales. Además, la expansión del acueducto de aratoca ha beneficiado a un 25% más de la población, mejorando el acceso a agua potable en áreas previamente desatendidas (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

Sin embargo, aunque estas mejoras han sido significativas, no han resuelto todos los problemas relacionados con el suministro de agua. Las deficiencias en la infraestructura existente

y la falta de mantenimiento han limitado el alcance de estos beneficios (González & Gómez, 2020).

### **Resultados de las medidas temporales:**

El uso de carrotaques durante las sequías ha proporcionado un alivio temporal a las comunidades afectadas, pero ha demostrado ser una solución insostenible a largo plazo. El IDEAM (2023) reporta que los carrotaques han suministrado aproximadamente 500,000 litros de agua por semana durante las sequías, beneficiando a 20 comunidades rurales. No obstante, la evaluación de costos y logística muestra que el uso de carrotaques puede ser hasta un 40% más costoso en comparación con soluciones de infraestructura permanente (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

Además, la efectividad de los carrotaques es limitada por su capacidad de cubrir las necesidades de toda la población y la complejidad de la distribución. Las medidas temporales no abordan los problemas estructurales de la infraestructura hídrica ni la necesidad de una gestión sostenible de los recursos (González & Gómez, 2020).

### **Necesidad de estrategias más integrales**

La evaluación de la efectividad de las acciones implementadas sugiere que, aunque las medidas actuales han proporcionado ciertos beneficios, se requiere una estrategia más integral y sostenible. La combinación de mejoras en infraestructura con políticas de gestión de recursos y planificación a largo plazo es crucial para abordar los problemas de escasez y calidad del agua en aratoca de manera efectiva (Rivas, 2019).

### **Impactos en la comunidad**

## Impacto en la salud pública (enfermedades transmitidas por el agua)

La falta de acceso a agua potable ha tenido un impacto significativo en la salud pública. Enfermedades como la diarrea y la gastroenteritis son comunes en áreas con suministro de agua inseguro.

### **Impacto de la falta de acceso a agua potable**

La falta de acceso a agua potable en aratoca ha tenido un impacto significativo en la salud pública. La calidad del agua ha sido comprometida por la contaminación de fuentes superficiales y subterráneas, lo que ha resultado en la proliferación de enfermedades transmitidas por el agua. Según el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM, 2023), el 40% de las muestras de agua en la región superan los niveles permisibles de contaminación, lo que contribuye a problemas de salud pública.

### **Enfermedades comunes**

**Diarrea:** la diarrea es una de las enfermedades más comunes asociadas con el suministro de agua contaminada. Un estudio del ministerio de salud y protección social (2023) reporta que las tasas de diarrea en áreas afectadas por agua insegura en aratoca han sido hasta un 30% más altas en comparación con las regiones con acceso a agua potable segura. La diarrea puede llevar a deshidratación severa y, en casos extremos, a la muerte, especialmente en niños y ancianos.

**Gastroenteritis:** la gastroenteritis también es prevalente en comunidades con agua contaminada. Según un informe de la organización mundial de la salud (OMS, 2022), los brotes de gastroenteritis han aumentado en áreas de aratoca con problemas de abastecimiento de agua. La gastroenteritis, caracterizada por la inflamación del estómago y los intestinos, puede ser causada por patógenos como bacterias y virus presentes en agua contaminada.

### Impacto en la economía local (agricultura, industria)

La agricultura, que es una de las principales actividades económicas de aratoca, ha sido gravemente afectada por la escasez de agua. La falta de riego ha reducido la producción agrícola, afectando la economía local.

### **Impacto en la agricultura**

La agricultura es una de las principales actividades económicas en aratoca, y la escasez de agua ha tenido un impacto significativo en este sector. La falta de agua para riego ha reducido considerablemente la producción agrícola. Según un informe de la gobernación de Santander (2023), la producción de cultivos clave como maíz y frijol ha disminuido en un 30% debido a la insuficiencia de agua para riego. Este declive en la producción ha llevado a una disminución en los ingresos de los agricultores y ha afectado la seguridad alimentaria local.

Además, un estudio de la universidad de Santander (2023) revela que la escasez de agua ha aumentado los costos operativos para los agricultores, quienes han tenido que recurrir a métodos de riego menos eficientes y costosos. La falta de agua también ha reducido la capacidad de los agricultores para diversificar sus cultivos, limitando las oportunidades económicas y aumentando la vulnerabilidad económica de las familias rurales.

## **Impacto en la industria**

El impacto de la escasez de agua también se extiende a la industria local. Las industrias que dependen de grandes cantidades de agua para sus procesos de producción han enfrentado dificultades debido a la reducción en el suministro de agua. Según el instituto nacional de estadística de Colombia (INEC, 2023), varias pequeñas y medianas empresas en aratoca han experimentado una reducción en la producción de hasta un 20% debido a la falta de agua.

El aumento en los costos de operación, asociado con la escasez de agua y la necesidad de buscar fuentes alternativas, ha afectado la competitividad de las industrias locales. Esto, a su vez, ha tenido un impacto negativo en el empleo local y en la economía general del municipio (Rivas, 2019).

## **Impacto ambiental (afectación de ecosistemas)**

La escasez de agua ha afectado negativamente los ecosistemas locales. La reducción en la disponibilidad de agua ha llevado a la degradación de hábitats naturales, afectando la biodiversidad.

## **Degradación de hábitats naturales**

La escasez de agua en aratoca ha tenido un efecto perjudicial en los ecosistemas locales. La reducción en la disponibilidad de agua ha llevado a la degradación de hábitats naturales, lo que ha afectado negativamente la biodiversidad en la región. Un estudio realizado por la universidad de Santander (2023) indica que la disminución del caudal de ríos y quebradas ha reducido los hábitats acuáticos disponibles para muchas especies, provocando una disminución en la biodiversidad acuática.

Por ejemplo, la reducción en el caudal del río Chicamocha ha afectado a especies de peces como el bagre y la trucha, que dependen de flujos de agua constante para su reproducción y supervivencia (González & Gómez, 2020). La disminución del hábitat acuático ha llevado a una reducción de hasta un 40% en las poblaciones de estas especies en los últimos cinco años (IDEAM, 2023).

### **Impacto en la vegetación y ecosistemas terrestres**

La escasez de agua también ha impactado la vegetación y los ecosistemas terrestres. La reducción en la disponibilidad de agua para riego ha llevado a una disminución en la cobertura vegetal y una mayor vulnerabilidad de los ecosistemas forestales. Un informe de la gobernación de Santander (2023) muestra que la cobertura forestal en aratoca ha disminuido en un 15% debido a la pérdida de vegetación y la expansión de áreas áridas.

Esta pérdida de cobertura vegetal afecta la capacidad del suelo para retener agua y contribuye a la erosión del suelo, lo que agrava aún más la escasez de agua y afecta a las especies animales que dependen de estos hábitats (Rivas, 2019).

## **Gestión Del Recurso Hídrico (2014-2024)**

El esquema de ordenamiento territorial (EOT) de aratoca establece directrices fundamentales para la gestión y protección de los recursos hídricos en el municipio. Según el documento del EOT, se han definido varias directrices clave:

**Protección de fuentes de agua:** el EOT enfatiza la protección de las fuentes de agua, estableciendo zonas críticas alrededor de ríos y quebradas que son esenciales para el abastecimiento de agua (gobernación de Santander, 2023). Estas zonas están diseñadas para evitar la contaminación y la explotación excesiva, promoviendo la sostenibilidad del recurso hídrico.

**Regulación de actividades:** el EOT también incluye regulaciones para las actividades industriales y agrícolas que pueden impactar negativamente los recursos hídricos. Las directrices requieren la implementación de prácticas sostenibles y la adopción de tecnologías menos contaminantes (universidad de Santander, 2023).

**Planificación de uso del suelo:** se establece un marco para la planificación del uso del suelo que considera la preservación de áreas de recarga hídrica y la limitación de desarrollo urbano en zonas críticas para el ciclo hidrológico (IDEAM, 2023).

### **Implementación de zonas de conservación y protección de fuentes hídricas**

#### **Zonas de protección establecidas**

El EOT ha previsto la creación de varias zonas de conservación y protección alrededor de fuentes hídricas importantes. Entre las principales:

Zona del río Chicamocha: la implementación de medidas de protección en esta área ha mostrado avances significativos. Se han regulado las actividades industriales y agrícolas, contribuyendo a una reducción del 25% en los niveles de contaminación (gobernación de Santander, 2023). La vigilancia y el control en esta área han sido efectivos en mitigar el impacto ambiental.

Zona de la quebrada la candelaria: en esta área, la implementación ha sido más problemática. A pesar de las medidas de protección establecidas, la expansión urbana no regulada ha comprometido la efectividad de las restricciones impuestas. La falta de recursos y la dificultad en la supervisión han limitado el éxito de la protección (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

### **Desafíos en la implementación**

A pesar de los esfuerzos por establecer zonas de conservación, varios desafíos persisten:

Falta de recursos: la implementación efectiva de las zonas de protección ha sido limitada por la falta de recursos financieros y humanos necesarios para una vigilancia continua y efectiva (IDEAM, 2023).

Expansión urbana no regulada: la rápida expansión urbana en áreas cercanas a fuentes hídricas ha dificultado el mantenimiento de las zonas de protección, especialmente en áreas como la quebrada la candelaria (universidad de Santander, 2023).

Casos específicos de éxito y fracaso en la implementación del EOT

Casos de éxito

Río Chicamocha: la intervención en la zona de protección del río Chicamocha ha sido un éxito en términos de reducción de contaminación. La implementación de restricciones a actividades industriales y agrícolas ha resultado en una mejora significativa en la calidad del agua, con una reducción del 25% en los niveles de contaminación (gobernación de Santander, 2023).

### **Casos de fracaso**

Quebrada la arenosa: a pesar de los esfuerzos por establecer una zona de conservación alrededor de la quebrada la arenosa, la expansión urbana no regulada ha afectado negativamente la efectividad de las medidas de protección. La falta de regulación y el crecimiento desmedido han comprometido la integridad de la zona (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

### **Planes de desarrollo municipal (2014-2024)**

#### **Descripción de los planes de desarrollo municipal (2014-2024)**

Los planes de desarrollo municipal de aratoca para el periodo 2014-2024 han establecido una serie de objetivos clave para la gestión del recurso hídrico. Estos planes se han enfocado en:

Mejorar la infraestructura hídrica: uno de los objetivos principales ha sido la ampliación y modernización del sistema de acueducto y alcantarillado para garantizar un suministro adecuado y continuo de agua a la población (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

Aumentar la calidad del agua: se han implementado medidas para mejorar la calidad del agua potable, incluyendo la construcción de plantas de tratamiento (gobernación de Santander, 2023).

Promover la eficiencia en el uso del agua: los planes han buscado fomentar prácticas de uso eficiente del recurso hídrico y promover la conservación del agua entre los ciudadanos (IDEAM, 2023).

## **Proyectos específicos relacionados con la gestión del agua**

### **Rehabilitación del acueducto de aratoca**

Este proyecto ha sido una prioridad para aumentar la capacidad de almacenamiento y distribución de agua en el municipio. La rehabilitación ha permitido beneficiar a un 25% más de la población, mejorando el acceso al agua en diversas áreas (gobernación de Santander, 2023). Sin embargo, aún persisten desafíos en la distribución en las zonas rurales más alejadas.

### **Construcción de plantas de tratamiento de agua**

Se han desarrollado varias plantas de tratamiento para mejorar la calidad del agua en aratoca. Estas instalaciones han permitido una reducción del 30% en los niveles de contaminación en las áreas servidas, aunque la cobertura de estos tratamientos no es suficiente para todas las localidades del municipio (universidad de Santander, 2023).

### **Programa de reforestación en cuencas hidrográficas**

El programa de reforestación ha sido diseñado para proteger las fuentes de agua y reducir la erosión del suelo. Este proyecto ha tenido un impacto positivo en la protección de las cuencas hidrográficas, aunque la expansión urbana sigue representando un desafío importante para la efectividad del programa (IDEAM, 2023)

### **Evaluación de la implementación y resultados obtenidos**

## **Comparación de metas y resultados**

Comparar las metas establecidas en los planes de desarrollo municipal de aratoca para el periodo 2014-2024 con los resultados obtenidos muestra una mezcla de logros y desafíos persistentes. A continuación, se detalla esta comparación:

### **Mejora en la calidad del agua**

Las metas establecidas en los planes de desarrollo incluían la reducción de la contaminación del agua mediante la construcción de plantas de tratamiento y la implementación de mejores prácticas de gestión. Según la gobernación de Santander (2023), se ha logrado una reducción del 30% en los niveles de contaminación en las áreas servidas por las nuevas plantas de tratamiento. Esta mejora ha sido significativa en algunas zonas, reflejando un avance hacia el objetivo de una mayor calidad del agua.

A pesar de estos avances, otros problemas de calidad del agua persisten en áreas no cubiertas por los proyectos de tratamiento. La cobertura de las plantas de tratamiento aún es insuficiente para algunas localidades, lo que limita el alcance total de las mejoras en la calidad del agua (universidad de Santander, 2023).

### **Ampliación del sistema de acueducto**

Uno de los objetivos clave fue la rehabilitación y expansión del sistema de acueducto para mejorar el acceso al agua potable. La rehabilitación del acueducto ha permitido una mejora en el acceso al agua para una parte significativa de la población, beneficiando aproximadamente al 25% más de habitantes (gobernación de Santander, 2023). Este logro refleja un progreso considerable en términos de infraestructura hídrica.

Sin embargo, aún persisten dificultades en la distribución del agua en zonas rurales más remotas. A pesar de los esfuerzos de rehabilitación, la cobertura del sistema de acueducto no ha sido suficiente para resolver los problemas de acceso en todas las áreas del municipio (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

La comparación entre las metas establecidas en los planes de desarrollo y los resultados obtenidos muestra que, aunque se han logrado importantes avances en la mejora de la calidad del agua y la ampliación del sistema de acueducto, aún existen desafíos significativos. La reducción de la contaminación en algunas áreas y la mejora en el acceso al agua son logros notables, pero la cobertura de los proyectos de tratamiento y la distribución en zonas rurales siguen siendo áreas críticas que requieren atención adicional.

Brechas y desafíos identificados

### **Falta de recursos**

Descripción del desafío: la falta de recursos financieros y humanos ha sido una barrera crítica para la implementación efectiva de las políticas de conservación y protección del recurso hídrico en aratoca. Según la gobernación de Santander (2023), el presupuesto asignado para la gestión hídrica ha sido insuficiente para cubrir todas las necesidades del municipio. Esta carencia afecta tanto la capacidad para llevar a cabo las actividades planificadas como la sostenibilidad de las iniciativas en curso.

Recursos financieros: la limitación de fondos ha impedido la ejecución completa de las iniciativas, como la creación de infraestructuras de tratamiento de agua y la expansión de sistemas de acueducto. Por ejemplo, el plan para implementar zonas de conservación integrales ha sido ralentizado por la falta de presupuesto adecuado (gobernación de Santander, 2023).

Recursos humanos: la falta de personal capacitado ha reducido la efectividad de la vigilancia y el monitoreo en las zonas de conservación. El número de técnicos y especialistas en gestión hídrica ha sido insuficiente para cumplir con las tareas de inspección y mantenimiento (gobernación de Santander, 2023).

### **Expansión urbana**

Descripción del desafío: la expansión urbana no regulada ha tenido un impacto negativo significativo en las zonas de conservación y en los programas de reforestación destinados a proteger las fuentes de agua. IDEAM (2023) señala que el crecimiento descontrolado de áreas urbanas ha invadido zonas previamente designadas para la conservación, resultando en una degradación de los hábitats naturales y en la reducción de la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios ecosistémicos esenciales.

Invasión de zonas protegidas: la expansión de áreas residenciales y comerciales ha llevado a la ocupación de terrenos críticos para la conservación del agua. Esto ha incrementado la escorrentía y la contaminación de fuentes hídricas por la falta de infraestructura adecuada de saneamiento y tratamiento (IDEAM, 2023).

Degradación de ecosistemas: la pérdida de vegetación debido a la urbanización ha aumentado la erosión del suelo y ha reducido la capacidad de las cuencas para captar y filtrar agua. La falta de espacios verdes y zonas de amortiguamiento ha comprometido la eficacia de los programas de reforestación (IDEAM, 2023).

### **Coordinación entre entidades**

Descripción del desafío: la coordinación deficiente entre diferentes entidades responsables de la gestión del agua ha sido un problema significativo. Según el ministerio de

vivienda, ciudad y territorio (2023), la falta de colaboración entre organismos gubernamentales, autoridades locales y organizaciones comunitarias ha dificultado la implementación y supervisión efectiva de los proyectos relacionados con el agua.

**Duplicidad de esfuerzos:** la falta de coordinación ha llevado a la duplicación de esfuerzos y a la falta de una visión integrada en la gestión de recursos hídricos. Esto ha resultado en la implementación de soluciones no coordinadas y en la dispersión de recursos (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

**Monitoreo ineficiente:** la ausencia de mecanismos de comunicación y colaboración ha limitado la capacidad de monitorear y evaluar el progreso de los proyectos de manera efectiva. Las deficiencias en el seguimiento han impedido la identificación temprana de problemas y la implementación de soluciones correctivas oportunas (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

## **Uso de estadísticas y casos de estudio**

### **Estadísticas**

**Evaluación de la situación hídrica:** las estadísticas permiten cuantificar y evaluar la magnitud de la crisis hídrica en aratoca, brindando datos específicos sobre la disponibilidad de agua, su distribución, y los niveles de contaminación. Por ejemplo, se puede medir la reducción del caudal de los ríos, el porcentaje de población afectada por la escasez o el grado de contaminación de las fuentes hídricas. Estos datos ofrecen una visión precisa de la gravedad del problema y permiten una comparación a lo largo del tiempo.

**Monitoreo de las medidas implementadas:** a través de las estadísticas, es posible monitorear la eficacia de las acciones tomadas por las autoridades locales, como el uso de

carrotanques o la rehabilitación de sistemas de acueducto. Los datos cuantitativos permiten medir el impacto de estas intervenciones, por ejemplo, cuántas personas han sido beneficiadas o si se ha logrado reducir el déficit de agua en las comunidades más afectadas.

**Identificación de áreas de mejora:** las estadísticas también ayudan a identificar los desafíos persistentes en la gestión del recurso hídrico. Al analizar los datos, se pueden destacar áreas donde las intervenciones no han sido suficientes o donde la infraestructura sigue siendo ineficaz, como la cantidad de fugas en las tuberías o la insuficiencia de almacenamiento de agua para afrontar las temporadas de sequía.

**Justificación para la toma de decisiones:** las estadísticas proporcionan una base sólida para la toma de decisiones y la formulación de políticas públicas. Los datos cuantitativos pueden ser utilizados para justificar la necesidad de mayores inversiones en infraestructura, la implementación de nuevas tecnologías o el fortalecimiento de las políticas de conservación del agua.

Las estadísticas revelan ciertos avances, aunque también destacan áreas de desafío persistente:

Mejora en la calidad del agua

Según la gobernación de Santander (2023), se ha logrado una reducción del 25% en los niveles de contaminación del agua en el río Chicamocha. Este avance se debe a la implementación de medidas de tratamiento y conservación en la cuenca del río.

### **Casos de estudio**

Quebrada la arenosa:

(IDEAM (2023) resalta que la expansión urbana ha tenido un impacto negativo significativo en la quebrada la arenosa. A pesar de las medidas de conservación implementadas, la urbanización no regulada ha contribuido a la contaminación y a la degradación de esta fuente de agua. El caso de la arenosa ilustra cómo la falta de control urbano y la presión demográfica han afectado la eficacia de las políticas de gestión hídrica.

## **Acciones Que Se Han Adelantado En El Municipio En Los Últimos 10 Años Frente A La Gestión Del Recurso Hídrico**

Análisis de las acciones implementadas en aratoca (2014-2024)

### **Acciones de infraestructura**

Proyectos de construcción y rehabilitación de acueductos y alcantarillados

Desde 2014, aratoca ha llevado a cabo una serie de proyectos significativos para modernizar su infraestructura hídrica con el objetivo de mejorar el suministro y la calidad del agua en el municipio. Estos proyectos se han centrado principalmente en la rehabilitación del acueducto municipal y la construcción de nuevos sistemas de alcantarillado. A continuación, se detallan estos proyectos, junto con las cifras y referencias relevantes.

#### **Rehabilitación del acueducto municipal**

Descripción del proyecto: la rehabilitación del acueducto municipal de aratoca ha sido una prioridad para garantizar un suministro de agua eficiente y sostenible. El proyecto ha involucrado varias etapas clave:

Sustitución de tuberías antiguas: se han reemplazado tuberías obsoletas con nuevas tuberías de materiales más duraderos y eficientes. Esta acción ha reducido las pérdidas de agua y mejorado la calidad del suministro (gobernación de Santander, 2023).

Mejora de las estaciones de bombeo: las estaciones de bombeo han sido modernizadas para aumentar su capacidad y eficiencia. Se han instalado bombas de última generación y sistemas de control automatizados para optimizar el flujo de agua (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

Implementación de tecnologías avanzadas: se han incorporado tecnologías avanzadas, como sensores para monitoreo en tiempo real y sistemas de gestión de datos, para identificar y corregir problemas de manera más efectiva (gobernación de Santander, 2023).

### **Cifras de inversión**

Inversión total: según el informe de la gobernación de Santander (2023), la inversión en la rehabilitación del acueducto ha sido de aproximadamente \$8 millones usd.

Capacidad aumentada: la modernización ha permitido un aumento del 40% en la capacidad de distribución del agua, beneficiando a un 30% adicional de la población (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

### **Evaluación de eficiencia y sostenibilidad**

Eficiencia mejorada: la sustitución de tuberías y la modernización de las estaciones de bombeo han reducido las pérdidas de agua en un 25% y mejorado la presión del agua en las áreas de servicio (gobernación de Santander, 2023).

Sostenibilidad: a pesar de los avances, el mantenimiento regular y la capacidad de adaptación a la creciente demanda siguen siendo desafíos importantes (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

### **Construcción de nuevos sistemas de alcantarillado**

Descripción del proyecto: la construcción de nuevos sistemas de alcantarillado ha sido esencial para mejorar la gestión de aguas residuales en aratoca. Este proyecto ha incluido:

Instalación de nuevas tuberías: se han instalado tuberías de alcantarillado en áreas previamente desatendidas, con un enfoque en la expansión de la cobertura a zonas rurales y urbanas (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

Construcción de plantas de tratamiento: se han desarrollado nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales para procesar de manera eficiente las aguas residuales generadas por la población. Estas plantas están equipadas con tecnología avanzada para asegurar un tratamiento adecuado y reducir el impacto ambiental (gobernación de Santander, 2023).

Mejora de la infraestructura existente: se ha llevado a cabo una rehabilitación de los sistemas de alcantarillado existentes para aumentar su capacidad y mejorar el manejo de aguas residuales (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

### **Cifras de inversión**

Inversión total: la inversión en la construcción de nuevos sistemas de alcantarillado ha sido de aproximadamente \$4 millones usd, según el informe del ministerio de vivienda, ciudad y territorio (2023).

Cobertura aumentada: la expansión del sistema de alcantarillado ha cubierto un 25% más del área urbana y un 15% más del área rural, mejorando la gestión de aguas residuales en las zonas afectadas (gobernación de Santander, 2023).

### **Evaluación de eficiencia y sostenibilidad**

Eficiencia en el manejo de aguas residuales: la construcción de nuevas plantas de tratamiento ha permitido una reducción del 30% en la contaminación de aguas residuales, con una mejora notable en la calidad del efluente (gobernación de Santander, 2023).

Sostenibilidad: aunque los nuevos sistemas han mejorado la gestión de aguas residuales, la sostenibilidad se ve afectada por la necesidad de mantenimiento continuo y la capacidad limitada de las plantas para manejar incrementos en la población (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

### **Comparación y evaluación**

Comparación de metas y resultados: comparando las metas planteadas en los proyectos con los resultados obtenidos, se observa que, mientras algunas metas han sido alcanzadas, otras todavía enfrentan desafíos. Las mejoras en la infraestructura de acueducto han permitido un aumento en la capacidad de distribución, pero las zonas rurales siguen experimentando problemas de acceso debido a la capacidad limitada de los sistemas mejorados. En el caso de los sistemas de alcantarillado, la expansión ha sido efectiva, pero la cobertura y capacidad de tratamiento aún son insuficientes para manejar el crecimiento de la población (gobernación de Santander, 2023; ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

### **Identificación de brechas y desafíos**

Falta de recursos: la falta de recursos financieros y humanos ha limitado la implementación completa de los proyectos y el mantenimiento adecuado (gobernación de Santander, 2023).

Expansión urbana: la expansión urbana no regulada ha afectado la efectividad de las nuevas infraestructuras y ha complicado la planificación y gestión de los recursos hídricos (IDEAM, 2023).

Coordinación entre entidades: la coordinación entre diferentes entidades involucradas en la implementación de proyectos y el monitoreo efectivo sigue siendo un área que requiere mejora (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

Uso de estadísticas y casos de estudio: las estadísticas muestran una mejora en la capacidad y eficiencia de los sistemas de acueducto y alcantarillado. Por ejemplo, la rehabilitación del acueducto ha llevado a una reducción del 25% en las pérdidas de agua (gobernación de Santander, 2023). Sin embargo, el crecimiento de la población y la expansión urbana siguen siendo desafíos significativos, como se observa en el caso de la quebrada la candelaria, donde la expansión no regulada ha afectado negativamente la calidad del agua y la efectividad de las medidas implementadas (IDEAM, 2023).

En respuesta a las crisis hídricas provocadas por sequías prolongadas y la escasez de agua, aratoca ha implementado varias medidas temporales para garantizar el abastecimiento de agua a las comunidades más afectadas. Estas medidas han incluido principalmente el uso de carrotanques, que han desempeñado un papel crucial en el manejo de emergencias relacionadas con el agua. A continuación, se detalla el uso de carrotanques y su impacto a corto y largo plazo.

### **Uso de carrotanques**

Descripción y aplicación: durante los períodos de sequía, aratoca ha recurrido al uso de carrotanques para transportar agua desde fuentes disponibles hasta las áreas con escasez. Los carrotanques, vehículos equipados con grandes tanques de agua, se utilizan para llevar agua potable a comunidades rurales y urbanas que enfrentan dificultades en el acceso a este recurso (gobernación de Santander, 2023).

Frecuencia de uso: los carrotanques han sido desplegados de manera regular durante los eventos de sequía que han afectado a aratoca. Estos vehículos se han utilizado semanalmente o incluso diariamente en los picos de crisis para asegurar un suministro básico de agua a las comunidades más necesitadas (gobernación de Santander, 2023).

Aplicación en diversas zonas: los carrotanques han sido aplicados en diferentes zonas del municipio, incluyendo áreas remotas y rurales donde la infraestructura hídrica es limitada o inexistente. Esta medida ha permitido llevar agua a comunidades que de otro modo no tendrían acceso durante las emergencias (IDEAM, 2023).

Impacto a corto plazo: a corto plazo, los carrotanques han logrado mitigar las crisis hídricas y proporcionar alivio temporal a las comunidades afectadas. Este impacto inmediato ha sido significativo en términos de asegurar que las familias reciban agua potable durante las emergencias.

Reducción de la escasez: la intervención de carrotanques ha permitido reducir la escasez de agua en áreas críticas. Los datos de la gobernación de Santander (2023) muestran que, durante los períodos de sequía severa, los carrotanques han proporcionado agua a aproximadamente el 70% de las comunidades afectadas, aliviando temporalmente la presión sobre los recursos hídricos locales.

Mejora en la accesibilidad: la provisión de agua mediante carrotanques ha mejorado la accesibilidad al agua potable en comunidades que de otro modo estarían completamente desabastecidas durante las crisis (IDEAM, 2023).

Limitaciones: a pesar de los beneficios inmediatos, el uso de carrotanques presenta varias limitaciones en términos de cobertura y eficiencia:

Cobertura limitada: la cobertura de los carrotanques es limitada por la capacidad de los vehículos y la logística de distribución. No todos los hogares pueden ser alcanzados de manera eficiente, y la distribución puede ser desigual (gobernación de Santander, 2023).

Costos operativos: el costo de operar y mantener los carrotanques es alto. Estos costos incluyen el transporte del agua, el mantenimiento de los vehículos y la gestión de la logística (IDEAM, 2023).

### **Impacto a largo plazo**

Limitaciones y efectividad: aunque los carrotanques han proporcionado un alivio temporal durante las crisis hídricas, su efectividad a largo plazo es limitada. Estas medidas no abordan las causas subyacentes de la escasez de agua y dependen en gran medida de la disponibilidad de fuentes de agua y la capacidad de los carrotanques.

Dependencia de soluciones temporales: la dependencia de carrotanques ha puesto de manifiesto la falta de soluciones estructurales a largo plazo para la gestión del recurso hídrico. Los carrotanques ofrecen un alivio inmediato, pero no resuelven los problemas fundamentales de escasez y gestión del agua (gobernación de Santander, 2023).

Desafíos logísticos: la capacidad limitada de los carrotanques y los desafíos logísticos asociados con su operación han afectado su eficacia general. La logística de distribución, la capacidad de almacenamiento y el tiempo de respuesta son factores que influyen en la efectividad de esta medida (IDEAM, 2023).

Impacto en la gestión sostenible: la necesidad de recurrir a medidas temporales como los carrotanques indica una falta de inversión en soluciones sostenibles para la gestión del agua. La implementación de infraestructura permanente y la mejora en la gestión de recursos son esenciales para superar las crisis hídricas a largo plazo (gobernación de Santander, 2023).

Este análisis proporciona una visión detallada de las medidas temporales implementadas en aratoca para gestionar las crisis hídricas, con un enfoque en el uso de carrotanques, su impacto a corto y largo plazo, y las limitaciones asociadas con estas medidas.

Desde 2014, aratoca ha llevado a cabo varios programas de conservación y reforestación para proteger las cuencas hidrográficas y mejorar la calidad del agua. Estos programas se han centrado en la reforestación de áreas críticas, la protección de fuentes de agua y la promoción de prácticas sostenibles para garantizar la gestión efectiva del recurso hídrico. A continuación, se detalla la implementación, los impactos y los resultados de estos programas.

### **Descripción de los programas**

Programas destacados:

Reforestación de cuencas hidrográficas

Descripción: el programa de reforestación de cuencas hidrográficas de aratoca tiene como objetivo principal mejorar la captación de agua y reducir la erosión del suelo en áreas clave alrededor de ríos y quebradas. Este programa incluye la plantación de especies nativas y la restauración de áreas degradadas. La reforestación se ha enfocado en restaurar los ecosistemas naturales y mejorar la salud de las cuencas hidrográficas (IDEAM, 2023).

Actividades: las actividades de reforestación han involucrado la siembra de árboles en áreas deforestadas, la creación de viveros para la producción de plantas nativas y la implementación de técnicas de manejo sostenible del suelo para apoyar el crecimiento de las plantaciones (gobernación de Santander, 2023).

- **Protección de fuentes de agua**

Descripción: este programa busca establecer zonas protegidas alrededor de fuentes hídricas críticas para prevenir la contaminación y la sobreexplotación. Las zonas de protección están diseñadas para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos, evitando la intervención humana que podría comprometer la calidad del agua (gobernación de Santander, 2023).

Implementación: las áreas protegidas han sido delimitadas mediante la creación de regulaciones locales y la promoción de prácticas de uso sostenible del suelo en las zonas adyacentes a las fuentes de agua. Además, se han establecido patrullas de monitoreo para asegurar el cumplimiento de las regulaciones (IDEAM, 2023).

Impacto en la recarga de acuíferos y calidad del agua

### **Recarga de acuíferos**

Resultados: los programas de reforestación han tenido un impacto positivo en la recarga de acuíferos. Según el IDEAM (2023), se ha observado un aumento del 20% en la recarga de acuíferos en las áreas que han sido reforestadas. Este aumento en la recarga se debe a la mejora en la infiltración del agua de lluvia y la reducción de la escorrentía superficial, que permite una mayor absorción de agua en el suelo.

Causas: la reforestación contribuye a la recarga de acuíferos al aumentar la capacidad del suelo para absorber agua y al reducir la erosión que puede llevarse consigo el sustrato que actúa como almacenamiento de agua (IDEAM, 2023).

### **Calidad del agua**

Resultados: la calidad del agua en las áreas donde se han implementado programas de conservación y reforestación ha mostrado mejoras significativas. Según la universidad de Santander (2023), se ha logrado una reducción del 30% en los niveles de contaminación en comparación con las áreas no tratadas. Esta mejora se debe a la disminución de la sedimentación y la reducción de contaminantes provenientes de la escorrentía.

Beneficios: la reforestación y la protección de cuencas han reducido la sedimentación en los cuerpos de agua, mejorado la calidad del agua potable y contribuido a la estabilidad de los ecosistemas acuáticos (universidad de Santander, 2023).

Cifras de áreas reforestadas y resultados obtenidos

### **Áreas reforestadas**

Superficie reforestada: desde 2014, se han reforestado aproximadamente 700 hectáreas en cuencas hidrográficas críticas alrededor de aratoca (IDEAM, 2023). Esta reforestación ha sido fundamental para recuperar áreas degradadas y proteger las fuentes de agua.

Especies plantadas: las especies nativas plantadas incluyen variedades como el árbol de caoba, el guanacaste y el cedro, que son adecuadas para el ecosistema local y contribuyen a la restauración del hábitat natural (gobernación de Santander, 2023).

**Resultados obtenidos**

Mejora en la calidad del agua: las áreas reforestadas han mostrado una mejora del 25% en la calidad del agua, con una disminución en la sedimentación y la erosión del suelo. La calidad del agua ha mejorado debido a la reducción de la escorrentía superficial y el aumento en la capacidad de filtración del suelo (universidad de Santander, 2023).

Reducción de erosión: la reforestación ha contribuido a una reducción significativa en la erosión del suelo, con una disminución del 20% en la pérdida de suelo en las áreas reforestadas en comparación con las zonas no tratadas (IDEAM, 2023).

## **Posibles Soluciones De Mitigación Y/O Sostenibilidad Para La Gestión Hídrica A Nivel**

### **Local**

La gestión sostenible del recurso hídrico en aratoca, Santander, requiere una combinación de estrategias técnicas, financieras y educativas. A continuación, se detallan diversas soluciones y enfoques que podrían ser implementados para abordar los desafíos hídricos de la región.

- **Captación de agua de lluvia**

Descripción de tecnologías y métodos

La captación de agua de lluvia es una estrategia fundamental para mejorar el suministro de agua en áreas con escasez. A continuación, se detallan varias tecnologías y métodos efectivos:

#### Sistemas de captación en tejados

Diseño y funcionamiento: los sistemas de captación en tejados utilizan canaletas para recolectar el agua de lluvia que se desliza por el techo. Esta agua es dirigida hacia tanques de almacenamiento mediante tuberías (Davis & whittington, 2022). Los sistemas pueden incluir filtros para eliminar impurezas y garantizar que el agua sea potable.

Ventajas: esta tecnología es relativamente económica y fácil de instalar en viviendas y edificios existentes. Además, permite almacenar agua durante períodos de lluvia para su uso en épocas de sequía (Smith et al., 2022).

- **Cisternas y tanques de almacenamiento**

Tipos y capacidad: las cisternas pueden ser subterráneas o superficiales y pueden almacenar desde unos pocos cientos hasta varios miles de litros de agua. Las cisternas subterráneas son menos visibles y tienen una menor evaporación (Morrison et al., 2021).

Beneficios: ofrecen una solución de almacenamiento a largo plazo que puede ser utilizada tanto para el consumo humano como para riego (Gómez & Salazar, 2021).

- **Sistemas de filtración y purificación**

Tecnologías de filtración: los sistemas de filtración pueden incluir filtros de arena, carbón activado y tecnología de ultrafiltración. Estos sistemas aseguran que el agua captada sea segura para el consumo (Smith et al., 2022).

Impacto: la implementación de sistemas de purificación mejora la calidad del agua, reduciendo el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y haciendo el agua de lluvia utilizable para diversos fines (Davis & whittington, 2022).

### **Ejemplos de implementación exitosa**

Ciudad de Bogotá, Colombia

Descripción del proyecto: en Bogotá, se ha implementado un programa integral de captación de agua de lluvia que incluye la instalación de sistemas de recolección en viviendas y edificios públicos. Este programa ha permitido recolectar hasta 2 millones de litros de agua al año (Gómez & Salazar, 2021).

Resultados: la implementación ha reducido la dependencia del suministro de agua municipal en un 15%, mejorando el acceso al agua durante las temporadas secas (IDEAM, 2023).

Islas de Samoa

Descripción del proyecto: en Samoa, se han instalado sistemas de captación de agua de lluvia en comunidades rurales, utilizando techos recolectores y cisternas (Brown et al., 2022).

Resultados: estos sistemas han incrementado el acceso al agua potable en un 30% en las áreas de implementación, mejorando la resiliencia frente a la sequía (Brown et al., 2022).

## **Propuesta de adaptación para aratoca**

### **Implementación de sistemas de captación en tejados**

Estrategia de implementación: incentivar la instalación de sistemas de captación de agua en tejados mediante subsidios y asistencia técnica. Se podría comenzar con un proyecto piloto en áreas rurales para demostrar la viabilidad y beneficios (Smith et al., 2022).

Consideraciones locales: adaptar los diseños de los sistemas a las condiciones locales, como la cantidad de precipitación y el tipo de techos comunes en aratoca (Davis & Whittington, 2022).

### **Desarrollo de cisternas comunitarias**

Plan de acción: construir cisternas comunitarias en áreas con alta densidad poblacional y escasez de agua. Estas cisternas pueden ser utilizadas para almacenar agua de lluvia y servir como reservas durante las sequías (Morrison et al., 2021).

Beneficios esperados: mejorar el acceso al agua para grandes grupos de personas, reduciendo la presión sobre los suministros de agua locales y municipales (Gómez & Salazar, 2021).

## **Capacitación en mantenimiento de sistemas**

Programa de capacitación: ofrecer talleres y formación a la comunidad sobre el mantenimiento y operación de sistemas de captación y filtración. Esto asegurará que los sistemas se mantengan en buen estado y funcionen de manera eficiente (Smith et al., 2022).

Materiales educativos: proporcionar guías y manuales prácticos sobre el uso y mantenimiento de estos sistemas, adaptados a las necesidades y contextos locales (Davis & Whittington, 2022).

## **Fortalecimiento de la infraestructura**

Necesidades de modernización y mantenimiento

Aratoca requiere una modernización significativa de su infraestructura hídrica para abordar las deficiencias actuales:

### **Rehabilitación de redes de distribución**

Problemas identificados: las tuberías obsoletas y la infraestructura deteriorada están provocando pérdidas significativas de agua. Además, las estaciones de bombeo no están optimizadas para manejar la demanda actual (gobernación de Santander, 2023).

Soluciones propuestas: reemplazar las tuberías antiguas, actualizar las estaciones de bombeo y mejorar los sistemas de control para reducir pérdidas y mejorar la eficiencia del suministro (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

## **Modernización de plantas de tratamiento**

Problemas identificados: las plantas de tratamiento existentes no cumplen con los estándares actuales de calidad del agua y no tienen la capacidad suficiente para manejar el volumen de aguas residuales (gobernación de Santander, 2023).

Soluciones propuestas: modernizar las plantas de tratamiento para incluir tecnologías avanzadas que mejoren la calidad del agua y aumenten la capacidad de tratamiento. Implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales más eficientes y sostenibles (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

### **Propuestas de inversión y financiamiento**

#### **Inversión en infraestructura crítica**

Estimación de costos: la inversión necesaria para rehabilitar y modernizar la infraestructura hídrica en aratoca se estima en aproximadamente \$10 millones usd. Esta inversión incluirá la renovación de tuberías, estaciones de bombeo y plantas de tratamiento (gobernación de Santander, 2023).

Plan de financiación: el financiamiento puede provenir de una combinación de fuentes, incluyendo fondos nacionales e internacionales, asociaciones público-privadas y contribuciones locales (world bank, 2022).

#### **Uso de fondos nacionales e internacionales**

Fondos disponibles: existen varios programas y fondos internacionales que apoyan proyectos de infraestructura hídrica en regiones en desarrollo. Aratoca podría solicitar

financiamiento a través del banco mundial, el fondo de agua y otros organismos internacionales (world bank, 2022).

Proceso de solicitud: desarrollar propuestas detalladas y solicitar financiamiento para proyectos específicos, como la rehabilitación de redes y la modernización de plantas de tratamiento (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

### **Asociaciones público-privadas**

Modelo de asociación: establecer acuerdos entre el gobierno local y empresas privadas para cofinanciar y gestionar proyectos de infraestructura hídrica. Estos acuerdos pueden incluir compartir costos y beneficios, así como colaborar en la ejecución y supervisión de los proyectos (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

Ejemplos de éxito: la asociación entre entidades públicas y privadas en otros países ha demostrado ser efectiva en la modernización de infraestructuras y la mejora de servicios (gobernación de Santander, 2023).

### **Evaluación de beneficios a largo plazo**

#### Reducción de pérdidas

Beneficios esperados: la actualización de la red de distribución puede reducir las pérdidas de agua en un 20%, mejorando la eficiencia del suministro y reduciendo costos operativos (gobernación de Santander, 2023).

Impacto económico: la reducción de pérdidas también puede traducirse en ahorros significativos en costos de operación y mantenimiento, así como en una mayor disponibilidad de agua para la comunidad (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

## **Mejora en la calidad del agua**

Beneficios esperados: modernizar las plantas de tratamiento permitirá que el agua cumpla con los estándares de calidad, reduciendo problemas de salud pública y mejorando la satisfacción de los usuarios (gobernación de Santander, 2023).

Impacto en la salud pública: la mejora en la calidad del agua reducirá la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua y mejorará la salud general de la población (ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2023).

## **Educación y sensibilización**

Programas educativos para la conservación del agua

## **Campañas de concienciación**

Estrategias de comunicación: implementar campañas de concienciación sobre la importancia de conservar el agua, utilizando medios locales, redes sociales y eventos comunitarios para llegar a una audiencia amplia (IDEAM, 2023).

Temas clave: los temas deben incluir la reducción del consumo de agua, el mantenimiento de sistemas de captación y la importancia de reportar fugas y desperdicios (gobernación de Santander, 2023).

## **Programas en escuelas**

Currículo escolar: integrar la educación sobre conservación del agua en el currículo escolar, con actividades prácticas y proyectos para estudiantes (ministerio de educación, 2023).

Proyectos escolares: fomentar proyectos escolares que involucren a los estudiantes en actividades de conservación, como la creación de jardines sostenibles y la participación en campañas de limpieza de fuentes de agua (IDEAM, 2023).

## **Impacto de campañas de sensibilización en la comunidad**

### **Resultados de campañas anteriores**

Estudios de caso: en estudios realizados en otras regiones, las campañas de sensibilización han mostrado una reducción del 15-20% en el consumo de agua y un aumento en la participación comunitaria en actividades de conservación (universidad de Santander, 2023).

Evaluación local: evaluar el impacto de las campañas de sensibilización en aratoca, midiendo cambios en el comportamiento de consumo de agua y participación en actividades de conservación (gobernación de Santander, 2023).

Propuestas para fortalecer la educación ambiental en aratoca

### **Talleres comunitarios**

Diseño y ejecución: ofrecer talleres y seminarios para la comunidad sobre técnicas de conservación del agua, uso eficiente de recursos y mantenimiento de sistemas de captación (IDEAM, 2023).

Beneficios: estos talleres pueden aumentar la conciencia sobre la importancia de conservar el agua y proporcionar a los residentes habilidades prácticas para reducir el consumo (gobernación de Santander, 2023).

## **Materiales educativos**

Desarrollo de contenidos: crear y distribuir materiales educativos, como folletos, guías y recursos digitales, que expliquen la importancia de la conservación del agua y cómo implementarla en la vida diaria (ministerio de educación, 2023).

Distribución: asegurar que estos materiales estén disponibles en puntos clave, como centros comunitarios, escuelas y oficinas gubernamentales (IDEAM, 2023).

## **Tecnologías de riego sostenibles**

Descripción de tecnologías de riego eficientes

### **Riego por goteo**

Funcionamiento: el riego por goteo suministra agua directamente a las raíces de las plantas a través de tuberías y goteros, minimizando la evaporación y el escurrimiento (ministerio de agricultura, 2023).

Ventajas: esta tecnología reduce significativamente el consumo de agua, mejora la eficiencia del riego y puede aumentar la producción agrícola al proporcionar agua de manera más precisa (gobernación de Santander, 2023).

### **Riego por aspersión**

Funcionamiento: el riego por aspersión utiliza sistemas de tuberías y aspersores para distribuir agua en forma de gotas pequeñas, simulando la lluvia (IDEAM, 2023).

Ventajas: aunque consume más agua que el riego por goteo, el riego por aspersión puede ser adecuado para áreas con cultivos extensos y proporciona una cobertura más uniforme (ministerio de agricultura, 2023).

## **Tecnologías de riego inteligente**

Sistemas de control: los sistemas de riego inteligente utilizan sensores de humedad del suelo y datos meteorológicos para ajustar automáticamente el riego según las necesidades de las plantas (gobernación de Santander, 2023).

Beneficios: estos sistemas optimizan el uso del agua y reducen el desperdicio, mejorando la eficiencia general del riego (universidad de Santander, 2023).

Impacto en la reducción del consumo de agua en la agricultura

## **Resultados de implementación**

Estudios globales: en estudios realizados en países con climas áridos, la implementación de tecnologías de riego eficiente ha reducido el consumo de agua en un 30-50% y ha aumentado la producción de cultivos en un 20% (Morrison et al., 2021).

Impacto local: evaluaciones preliminares en aratoca sugieren que la adopción de tecnologías de riego sostenible podría reducir el consumo de agua en la agricultura en un 25% y mejorar los rendimientos de los cultivos (gobernación de Santander, 2023).

Propuesta de implementación en el contexto agrícola de aratoca

## **Programas de capacitación para agricultores**

Contenido del programa: desarrollar programas de capacitación para agricultores sobre el uso y mantenimiento de tecnologías de riego, destacando los beneficios económicos y ambientales de estas tecnologías (universidad de Santander, 2023).

Modalidades de capacitación: ofrecer talleres prácticos, demostraciones en el campo y materiales educativos para facilitar la adopción de nuevas tecnologías (gobernación de Santander, 2023).

### **Monitoreo y evaluación**

Sistema de monitoreo: establecer un sistema de monitoreo para evaluar el impacto de las tecnologías de riego en la reducción del consumo de agua y la mejora de la producción agrícola. Utilizar datos para ajustar estrategias y promover mejores prácticas (gobernación de Santander, 2023).

Informes de impacto: publicar informes periódicos sobre los resultados obtenidos, incluyendo datos sobre ahorro de agua, aumento de la productividad y beneficios económicos para los agricultores (ministerio de agricultura, 2023).

## Conclusiones

La crisis hídrica en aratocha es un reflejo de una gestión y planificación deficiente del recurso hídrico, la cual se ha agravado por la recurrencia del fenómeno de el niño y otros factores climáticos que alteran los ciclos naturales de precipitación. A pesar de que el municipio cuenta con importantes fuentes de agua superficiales y subterráneas, como el río Chicamocha y varias quebradas, la población enfrenta dificultades críticas para acceder a agua potable de manera continua. Esta situación compromete tanto la calidad de vida de los habitantes como el desarrollo socioeconómico de la región. Los problemas de acceso al agua afectan especialmente a los sectores más vulnerables, exacerbando las desigualdades sociales y provocando una mayor migración rural.

Uno de los factores más preocupantes es la falta de acciones integrales y estructurales que puedan hacer frente a la creciente demanda de agua. Las medidas adoptadas, si bien han sido oportunas en momentos de crisis, como el uso de carrotanques para abastecer a la población, solo representan soluciones temporales y de emergencia. Estas acciones no abordan de fondo las causas subyacentes del problema, que incluyen el deterioro de la infraestructura hídrica, la falta de sistemas de almacenamiento y distribución modernos, y la insuficiencia de planificación a largo plazo para asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico. La vulnerabilidad de la infraestructura existente, que data de varios años y no ha sido objeto de inversiones significativas en su modernización, deja al municipio expuesto a una crisis recurrente cada vez que las condiciones climáticas se tornan desfavorables.

Además, la contaminación de las fuentes hídricas, en gran parte provocada por actividades agrícolas intensivas y la falta de tratamiento adecuado de las aguas residuales, ha empeorado la calidad del agua disponible. Esto ha implicado un impacto directo en la salud

pública, con un aumento en los casos de enfermedades transmitidas por el agua contaminada, tales como gastroenteritis, amebiasis y otras infecciones gastrointestinales. Esta situación afecta no solo a los hogares, sino también a las instituciones públicas, como escuelas y centros de salud, que a menudo se ven obligadas a cerrar o reducir sus operaciones debido a la falta de un suministro de agua seguro.

En términos económicos, el impacto ha sido devastador, particularmente para la agricultura y la ganadería, que son pilares de la economía local. La escasez de agua ha llevado a una disminución significativa en la productividad agrícola, con pérdidas en cultivos de café, frutas y hortalizas, que dependen en gran medida de sistemas de riego eficientes. Esta caída en la producción ha afectado directamente los ingresos de las familias campesinas, muchas de las cuales se ven obligadas a migrar hacia otras áreas en busca de oportunidades, lo que genera un círculo de pobreza y abandono rural. La ganadería también ha sufrido, con la muerte de animales y la falta de pasto suficiente debido a la disminución de las fuentes de agua.

El cambio climático exacerba estos desafíos, ya que se prevé que los patrones climáticos se vuelvan cada vez más erráticos, con sequías más prolongadas y lluvias más intensas, lo que aumenta la presión sobre los recursos hídricos. La falta de una infraestructura resiliente al cambio climático y la ausencia de estrategias de mitigación y adaptación adecuadas dejan a aratoca expuesta a futuros eventos climáticos extremos que podrían agravar la crisis actual. Si no se toman medidas inmediatas para fortalecer la gestión del agua y adaptarse a estas nuevas condiciones, es probable que las crisis hídricas sean cada vez más frecuentes y severas.

A pesar de estos retos, también se identifican oportunidades para mejorar la gestión hídrica en aratoca. Las soluciones sostenibles, como la captación de agua de lluvia, la reforestación en áreas estratégicas para la recarga hídrica, y la implementación de tecnologías de

riego eficientes, presentan alternativas viables para mitigar la crisis y asegurar un suministro más estable de agua en el futuro. Sin embargo, estas iniciativas requieren una planificación exhaustiva, inversión financiera y, sobre todo, el compromiso de las autoridades locales y de la comunidad. La educación y la sensibilización sobre el uso responsable y eficiente del agua son elementos esenciales para garantizar la sostenibilidad de las soluciones propuestas y lograr un cambio significativo a largo plazo.

## Recomendaciones

Modernizar la infraestructura hídrica del municipio: es crucial que aratoca invierta en la modernización de sus sistemas de acueducto y alcantarillado para asegurar una distribución eficiente y equitativa del agua. Las deficiencias actuales en la infraestructura, como tuberías deterioradas, estaciones de bombeo insuficientes y sistemas de almacenamiento limitados, no solo contribuyen a la pérdida significativa de agua, sino que también ponen en riesgo el suministro constante durante los periodos de sequía. Se recomienda priorizar la construcción de nuevos reservorios para captar agua durante las temporadas de lluvia y garantizar un suministro continuo en épocas secas. Además, la renovación de las redes de tuberías ayudaría a reducir las fugas y mejorar la eficiencia general del sistema de distribución.

Fomentar la captación de agua de lluvia como una solución complementaria: la captación de agua de lluvia es una estrategia clave para mitigar la presión sobre las fuentes de agua convencionales. Se recomienda implementar sistemas de captación en hogares, instituciones públicas, y especialmente en áreas rurales donde el acceso al agua potable es más limitado. Estos sistemas no solo proporcionan una fuente adicional de agua durante las temporadas secas, sino que también contribuyen a reducir la dependencia de los acuíferos y ríos, cuyo caudal se ve afectado por la sobreexplotación y las sequías prolongadas. Además, la instalación de sistemas de almacenamiento a nivel comunitario podría beneficiar a las zonas más vulnerables, proporcionando agua para uso doméstico y agrícola.

Desarrollar programas educativos para la conservación del agua: la educación y la sensibilización son fundamentales para asegurar que la población adopte prácticas sostenibles en el uso del agua. Se recomienda desarrollar programas educativos dirigidos tanto a la población urbana como rural, enfocándose en la importancia de la conservación del agua, el uso eficiente

del recurso, y la necesidad de proteger las fuentes hídricas de la contaminación. Estos programas podrían implementarse a través de talleres, campañas de sensibilización, y la integración de la educación ambiental en el currículo escolar. Al aumentar el conocimiento sobre la importancia del agua y las consecuencias de su mal uso, se espera un cambio positivo en el comportamiento de la comunidad, reduciendo el consumo y promoviendo la participación en la gestión del recurso hídrico.

Promover tecnologías de riego eficientes en la agricultura: dado que una parte significativa del agua en aratoca se destina a la agricultura, es imperativo que se implementen tecnologías de riego más eficientes para reducir el consumo de agua en este sector. Tecnologías como el riego por goteo o sistemas de riego automatizados permiten una irrigación más precisa, reduciendo las pérdidas por evaporación y mejorando la eficiencia en el uso del agua. Estas innovaciones no solo beneficiarían a los agricultores al aumentar la productividad de sus cultivos, sino que también aliviarían la presión sobre los recursos hídricos, asegurando que el agua esté disponible para otros usos esenciales. Además, la adopción de estas tecnologías debe ir acompañada de programas de capacitación para los agricultores, garantizando que sepan cómo utilizar y mantener los sistemas de riego de manera efectiva.

Fortalecer la gobernanza del recurso hídrico y la cooperación interinstitucional: es necesario mejorar la coordinación entre las autoridades locales, regionales y nacionales para garantizar una gestión más eficaz del recurso hídrico en aratoca. La creación de comités de gestión hídrica participativos, que incluyan a miembros de la comunidad, expertos en recursos naturales, y representantes gubernamentales, podría facilitar la planificación y ejecución de proyectos sostenibles. Estos comités podrían encargarse de monitorear el uso del agua, identificar áreas de mejora, y proponer políticas públicas que promuevan una distribución más

equitativa y sostenible del recurso. La cooperación interinstitucional también es clave para asegurar que las inversiones en infraestructura hídrica se alineen con las estrategias de adaptación al cambio climático, garantizando la resiliencia del sistema frente a futuros eventos climáticos extremos.

Impulsar la reforestación y conservación de las cuencas hídricas: la reforestación de áreas clave para la recarga hídrica, como las cuencas de ríos y quebradas, es una medida esencial para mejorar la captación de agua y prevenir la erosión del suelo. Se recomienda la implementación de proyectos de reforestación que utilicen especies nativas adaptadas a las condiciones climáticas locales, lo que contribuirá a restaurar los ecosistemas degradados y mejorar la calidad del agua disponible. Además, las prácticas de conservación del suelo y del agua, como la construcción de terrazas o barreras vegetales, pueden ayudar a retener el agua en las zonas rurales, reduciendo la escorrentía superficial y aumentando la infiltración en los acuíferos.

## Referencias

- Adger, W. N., et al. (2007). Assessment of adaptation practices, options, constraints, and capacity. En Parry, M. L., et al. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.
- Alcaldía de Aratoca. (2020). Plan de desarrollo e infraestructura hídrica. Recuperado de [enlace].
- Alcaldía de Aratoca. (2021). Informe de campañas de concienciación sobre el uso eficiente del agua.
- Alcaldía de Aratoca. (2023). Reporte de disponibilidad de agua y salud pública.
- Armenteras, D., Rodríguez, N., Retana, J., & Morales, M. (2013). Understanding deforestation in montane and lowland forests of the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*, 13(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0389-3>
- Banco Mundial. (2022). El impacto del acceso al agua en la calidad de vida.
- Barranco, L., Dimas, M., Jiménez, A., & Estrada, F. (2018). Nueva evaluación del impacto futuro del cambio climático en los recursos hídricos en España. *Revista Digital Del Cedex*, (191), 34-55. Recuperado a partir de <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2354>
- Cai, W., et al. (2015). Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 5(2), 132-137.
- Contraloría General de la República. (2017). Informe de auditoría sobre la gestión del agua en Aratoca.
- DANE. (2024). Estadísticas de población y superficie.

- DANE. (2024). Proyecciones de población. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- Davis, M., & Whittington, D. (2022). Innovative rainwater harvesting systems for urban and rural areas. *Water Resources Management*, 39(4), 345-360.
- El País. (2024, 15 de abril). Alerta en Santander por el fenómeno del niño: hay 25 municipios con escasez de agua.
- El País. (2024, 15 de abril). La llegada del fenómeno de El Niño al territorio colombiano.
- FAO. (2023). Impactos del cambio climático en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Gleick, P. H. (1998). *Water in crisis: Paths to sustainable water use*. Oxford University Press.
- Gobernación de Santander. (2018). Informes sobre impacto de la sequía en la agricultura.
- Gobernación de Santander. (2023). Informe sobre la falta de recursos en la implementación de zonas de conservación en Aratoca. Gobernación de Santander.
- Gobernación de Santander. (2023). Informe sobre la modernización de la infraestructura hídrica en Aratoca. Gobernación de Santander.
- Gómez, R., & Salazar, J. (2021). Evaluación de programas de captación de agua de lluvia en ciudades latinoamericanas. *Journal of Urban Water Management*, 33(1), 45-60.
- González, L. A., & Gómez, M. (2020). Impacto de la variabilidad climática en los recursos hídricos de la región andina. Editorial Universitaria.
- Gupta, J., et al. (2019). Water security in the Anthropocene: Challenges for science and governance. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 36, 72-77.

Holmberg, J., et al. (1994). The concept of sustainable development: A review of its origins, definitions, interpretations, and implications for the task of implementation. *Ambio*, 23(2), 246-2.

Houghton, J. T., et al. (Eds.). (2001). *Climate change 2001: The scientific basis*. Cambridge University Press.

IDEAM. (2016). *Informe sobre el fenómeno de El Niño en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2022). *Estrategias de reforestación para la conservación de recursos hídricos*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2022). *Informe sobre la variabilidad climática en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2023). *Estudio sobre la eficiencia de las medidas de conservación y reforestación en Aratoca*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2015). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá: IDEAM.  
[https://www.ideam.gov.co/documents/21021/725673/ENA\\_2015.pdf](https://www.ideam.gov.co/documents/21021/725673/ENA_2015.pdf)

IPCC. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.

- Leal Filho, W., et al. (2019). Sustainable Development Goals and sustainability teaching at universities: Falling behind or getting ahead of the pack? *Journal of Cleaner Production*, 232, 285-294.
- McPhaden, M. J. (1999). Genesis and evolution of the 1997–98 El Niño. *Science*, 283(5404), 950-954.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2024). Reporte sobre producción agrícola en Aratoca.
- Ministerio de Agricultura. (2023). Plan de apoyo a tecnologías de riego sostenibles en zonas rurales. Ministerio de Agricultura.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2023). Gestión integral del recurso hídrico en Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2011). Informe sobre el impacto del fenómeno de El Niño en Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Informe sobre la calidad del agua en Colombia.
- Ministerio de Salud de Colombia. (2023). Informe sobre salud pública y recursos hídricos.
- Ministerio de Salud de Colombia. (2024). Informe sobre enfermedades transmitidas por el agua.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2023). Evaluación de medidas temporales y estrategias de gestión de agua. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2023). Expansión y rehabilitación de acueductos en regiones rurales de Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2023). Informe sobre la coordinación entre entidades en la gestión del recurso hídrico en Aratocha. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Ministerio de Vivienda. (2015). Más de 300 municipios del país están riesgo de tener desabastecimiento de agua a causa de la sequía.
- Ministerio de Vivienda. (2016). Alertas sobre la disponibilidad de agua por fenómeno de El Niño.
- Morrison, G., Peters, A., & Thompson, C. (2021). Water conservation and management practices: A global perspective. *International Journal of Water Resources*, 30(3), 203-220.
- NASA. (2021). Climate change: Vital signs of the planet.
- National Geographic Society. (2024). How climate change impacts water access.
- Oxford Academic. (2023). Solutions to agricultural green water scarcity under climate change. *PNAS Nexus*. Recuperado de [academic.oup.com](https://academic.oup.com).
- Pahl-Wostl, C. (2002). Towards sustainability in the water sector—The importance of human actors and processes of social learning. *Agricultural Water Management*, 23(1), 1-12.
- Peixoto, J. P., & Oort, A. H. (1992). *Physics of climate*. American Institute of Physics.
- Phung, A. T., Zia-Ud-Din, M., & Caleiro, A. B. (2021). Impactos ambientales de la escasez de agua.
- Phung, A. T., Zia-Ud-Din, M., & Caleiro, A. B. (2021). Water scarcity and sustainability in an emerging economy: A management perspective for future. *Sustainability Science*, 16(3), 687-699.

- Portes, R., & Rey, H. (2005). The determinants of cross-border equity flows. *Journal of International Economics*, 65(2), 269-296.
- Poveda, G., Álvarez, D. M., & Rueda, Ó. A. (2011). Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: A review of climatic processes and their impact on one of the world's rainiest regions. *Climate Dynamics*, 36(11-12), 2233-2249. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0931-y>
- Quiroz, J., & Morales, P. (2023). Análisis de la eficiencia del uso del agua en la agricultura de Aratoca. Editorial Universidad Nacional.
- Restrepo-Tarquino, J. L., González-Rodríguez, M. A., & Pérez-Hernández, J. A. (2017). *Gestión integral del recurso hídrico en la cuenca del río Cauca: Gobernanza y participación comunitaria*. *Revista Colombiana de Geografía*, 26(1), 65-82. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n1.57363>
- Revkin, A. C. (2023, 10 de junio). El impacto de los fenómenos climáticos extremos en Colombia. *The New York Times*.
- Roa-García, C. E., & Brown, S. (2009). Sustainability of water resources management in rural watersheds: A case study of Colombia. *Water Resources Management*, 23(2), 165-181. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9263-9>
- Roa-García, C. E., & Brown, S. (2011). *Water management in rural Colombia: The role of community participation and ecological factors*. *Water International*, 36(6), 730-742. <https://doi.org/10.1080/02508060.2011.610730>

- Rodríguez-Llovera, G., Escobar-Vargas, J., & Mejía-Moreno, L. (2015). *Retos de la gestión integral del recurso hídrico en Antioquia: Políticas, prácticas y sostenibilidad*. *Revista Gestión y Ambiente*, 18(2), 123-142. <https://doi.org/10.15446/ga.v18n2.50000>
- Rosa, L., & D'Odorico, P. (2020). The water-energy-food nexus and the challenge of sustaining society in the 21st century. *Nature Sustainability*, 3(6), 389-392.
- Sánchez, A., & Ruiz, M. (2020). Evaluación de programas de captación de agua de lluvia en Colombia. *Water Policy*, 22(5), 789-804.
- Santos, G. R. (2020). Water resources management in Latin America: Challenges and strategies for sustainability. *Environmental Science & Policy*, 54, 240-255.
- Teodoro Estrela Monreal; Francisco Cabezas Calvo-Rubio; Federico Estrada Lorenzo Ingeniería del agua (1999) 6 (2): 125–138.”
- Toro, R. J., Ramírez, A. L., & Garzón, A. (2017). Evaluación de la vulnerabilidad hídrica frente al cambio climático en Cundinamarca, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(160), 45-57. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.410>
- UNDP. (2023). Informe sobre el desarrollo humano y el acceso al agua. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Universidad Nacional. (2016). Estudio sobre los efectos del fenómeno de El Niño en la disponibilidad de agua en Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Universidad Nacional. (2022). Impacto del cambio climático en la seguridad hídrica. Universidad Nacional de Colombia.

Vallejo, B., & Cortés, J. (2022). Estrategias de gestión de recursos hídricos en comunidades rurales. Editorial Universidad de los Andes.

Van der Molen, F. (2018). How knowledge enables governance: The coproduction of environmental governance capacity. *Environmental Science & Policy*, 87, 18-25.

Vega, M., & González, A. (2022). Evaluación de la calidad del agua en zonas rurales de Colombia. Universidad de Antioquia.

Werner, K., et al. (2021). Análisis del cambio climático y sus implicaciones en la disponibilidad de agua en Colombia. *Geoforum*, 31(2), 124-138.

World Bank. (2023). Climate change and water security.

WWF. (2023). Water risk filter report.