

# ACUÍFEROS: AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL CONTEXTO COLOMBIANO Y EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

García-Quintero A., Palencia M., Combatt E.M., Valle-Zapata H.A.



# **Acuíferos: Aguas subterráneas en el contexto colombiano y en el departamento de Córdoba**



MT-Pallantia Publisher s.a.s. | ISBN 978-628-95372-5-3  
Cali - Colombia 2026

# **Acuíferos: Aguas subterráneas en el contexto colombiano y en el departamento de Córdoba**

**Angélica García-Quintero**

*Mindtech-RG. Mindtech s.a.s. Cali/Montería, Colombia.*

*GIQBID. Instituto de Ciencia y Tecnología Analítica Golden-Hammer s.a.s.,  
Montería – Colombia*

**Manuel S. Palencia Luna**

*GI-CAT. Departamento de Química. Facultad de Ciencias Naturales y  
Exactas, Universidad del Valle, Cali – Colombia.*

**Enrique M. Combatt Caballero**

*Departamento de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrícolas,  
Universidad de Córdoba, Montería – Colombia.*

**Hernán A. Valle Zapata**

*Departamento de Química, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de  
Córdoba, Montería – Colombia.*



MT-Pallantia Publisher s.a.s. | ISBN 978-628-95372-5-3  
Cali - Colombia 2026

**Acuíferos: Aguas subterráneas en el contexto colombiano y en el departamento de Córdoba**

Publisher: MT-Pallantia Publisher s.a.s. | NIT: 901.469.254-6

ISBN 978-628-95372-5-3

DOI: 10.34294/b.006.2026.05

Language: Spanish

Cali - Colombia 2026



This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright the publisher according to License CC BY-ND 4.0



Publisher:	MT- Pallantia Publisher s.a.s.
Editorial Project Manager:	A. García-Quintero
Production Project Manager:	A. García-Quintero
Cover Designer:	M.D. Palencia-Bolaños

**Funds:**

Mindtech s.a.s., Universidad del Valle, Universidad de Córdoba y al Departamento Nacional de Planeación de Colombia a través del Sistema General de Regalías por los recursos suministrados en el marco del proyecto BPIN 2020000100261: "Desarrollo de un Sistema de Tratamiento de Aguas Polímero-Membrana de Bajo Consumo Energético Adaptable a Familias Campesinas, Comunidades Rurales, Costeras y Agropecuarias de Córdoba". Mindtech s.a.s., la Universidad del Valle, la Universidad de Córdoba, Polymeiker s.a.s., MT-Solsosting s.a.s., Instituto de Ciencia y Tecnología Analítica Golden-Hammer s.a.s. por los fondos suministrados en el marco del proyecto MT-012025 (C.I. 71408 Univalle) - Convenio MT-AFICAT-202501.

**Cite as:**

García-Quintero, A.; Palencia, M.; Combatt, E.M.; Valle-Zapata, H.A. (2026) Acuíferos: Aguas subterráneas en el contexto colombiano y en el departamento de Córdoba. MT-Pallantia Publisher s.a.s., Cali – Colombia, pp. 211. DOI: 10.34294/b.006.2026.05



MT-Pallantia Publisher s.a.s. | ISBN 978-628-95372-5-3  
Cali - Colombia 2026

## Prólogo

### Acuíferos: Aguas subterráneas en el contexto colombiano y en el departamento de Córdoba

Angélica García-Quintero, Manuel Palencia,  
Enrique M. Combatt, Hernán A. Valle-Zapata.

**Resumen Proyecto.** El agua es un recurso de vital importancia para todas las actividades humanas, siendo importante no sólo su cantidad sino también su calidad y disponibilidad. En la actualidad, los tres factores anteriores son fuertes indicadores de riesgos y/o de bienestar que deben tenerse en cuenta si se quiere avanzar en el desarrollo sostenible tanto económico, como ambiental y social de las comunidades. Sin embargo, el cambio climático expone nuevos escenarios que impactan las tres características anteriores debido a la ocurrencia de sequías más prolongadas y mayores pérdidas del recurso por evaporación, lo que afecta no solo al sector productivo agropecuario y turístico sino también al sector salud. Por lo anterior, tecnologías dirigidas al aseguramiento del recurso hídrico en términos de cantidad, disponibilidad y calidad son una necesidad apremiante para todas las comunidades. Todo lo anterior aumenta la relevancia del proyecto si se tiene en cuenta que el departamento de Córdoba tradicionalmente se ha caracterizado por el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias, las cuales se ven enormemente potenciadas por la disponibilidad del recurso hídrico del departamento, definido por tres cuencas hidrográficas y aproximadamente 150.000 hectáreas de ciénagas.

Además, cinco municipios costeros con potencial turístico los cuales son Los Córdoba, San Antero Puerto Escondido, Moñitos, y San Bernardo del Viento. A partir de estas características es fácil establecer que el departamento debe desarrollar estrategias adaptables a su realidad, que le permitan abordar la problemática de la escasez del recurso hídrico en sus comunidades, y aprovechar sus potenciales geográficos en pro de su desarrollo.

Como se mencionó anteriormente, el cambio climático ejerce una fuerte presión sobre el sector agropecuario y, en consecuencia, sobre los recursos hídricos mediante la generación de un aumento de la demanda y una disminución de la disponibilidad. Para la agricultura, esto se traduce, entre otras situaciones, en una disminución de la producción, mayor peligro de incendios forestales y erosión del suelo. En este sentido, el departamento de Córdoba, según los modelos del IDEAM, experimentará entre el 2011-2040 descensos significativos de lluvias estimados en un -35,5 % respecto a la media anual, lo que generará, en las condiciones actuales, desabastecimiento de agua para consumo humano en amplios sectores de la población urbana y rural, siendo esta última la más vulnerables al carecer de una infraestructura sólida de abastecimiento del recurso hídrico. Pero, además, se producirá déficit hídrico para las actividades agrícolas y ganaderas, dos de los ejes más importantes del departamento. Por otro lado, desde el punto de vista de salud pública, la disponibilidad de agua de calidad es un factor primordial para el desarrollo sostenible de las comunidades, estando lo anterior garantizado sólo en algunas de las ciudades principales del departamento, existiendo una alta vulnerabilidad en las zonas rurales y costeras.

En este contexto, es claro que el departamento de Córdoba posee diferentes características que lo hacen idóneo para ser seleccionado como punto importante para el desarrollo, evaluación e

implementación de la tecnología de tratamiento de aguas propuesta en este proyecto, ya que esta tecnología se caracteriza por su configuración modular, de bajo costo energético y adaptabilidad a comunidades y diferentes escenarios. La solución planteada en este proyecto a los problemas anteriores es el uso eficiente del recurso hídrico, mediante la reutilización de este en sectores productivos ligados a este, el tratamiento de efluentes o cuerpos de agua de 8 zonas rurales no conectados a los sistemas de distribución central municipal, el potenciamiento de la cosecha de agua, y el aprovechamiento del agua de mar. Para ello, se requiere una tecnología adaptable, modular, escalable a diferentes niveles y, sobre todo, de bajo costo energético.

En este sentido, este proyecto se direcciona a la creación de sistemas autónomos de tratamiento de agua que no dependan de los sistemas convencionales de acueducto, pero que, a su vez, sean asequible a pequeños productores, y comunidades rurales dispersas. Para ello, la tecnología de membranas de retención en fase líquida asistida por polímeros, evolucionada a retención por membranas potenciada con polímeros funcionales soportados, emerge como una alternativa tecnológica viable y única en su naturaleza. Esta tecnología combina membranas de microfiltración con polímeros funcionales soportados que eliminan la carga iónica del efluente a bajas presiones de operación, siendo una estrategia diametralmente diferente a lo planteado por otras tecnologías de membrana como la ósmosis inversa que opera a muy altas presiones, o la retención en fase líquida asistida por polímeros que emplea polímeros solubles y membranas de ultrafiltración.

En particular, el punto clave tecnológico desarrollado ha sido llevar a cabo el tratamiento a un tamaño de corte de separación de iones cientos de veces mayor, posibilitando su adaptabilidad a costos muy inferiores que el de las tecnologías previas. Este proyecto no sólo se

enfoca en fortalecer ejes productivos priorizados del departamento de Córdoba, así como los beneficios inherentes sobre las comunidades, sino que posiciona al departamento en el desarrollo de este tipo de tecnología para la expansión a otros departamentos de la zona caribe, donde, en principio, las problemáticas son similares y donde el efecto del cambio climático tendrá un fuerte impacto.

## **Editores**

### **Angélica García-Quintero**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia. | Grupo de Investigación en Químico-, Bionalítica e Ingeniería de Datos (I-Data), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia.

### **Manuel Palencia**

Grupo de Investigación en Ciencias con Aplicaciones Tecnológicas (GI-CAT), Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Química, Universidad del Valle, Cali - Colombia.

### **Hernán A. Valle-Zapata**

Departamento de Química, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Córdoba, Montería – Colombia.

### **Enrique M. Combatt**

Departamento de Ingeniería Agrícola y Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería – Colombia.

## Lista de coautores

### **Alemán-Ramírez Yerly E.**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia.

### **Anaya-Tatis Luis R.**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia. | Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible e Innovación (GIDSI), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia.

### **Ascanio Ovalles Vanessa Alexandra**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia. | Grupo de Investigación en Ingeniería, Innovación y Sostenibilidad (GIS). Solsosting s.a.s., Montería – Colombia.

### **Bolaño-Vásquez Rafael A.**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Montería – Colombia.

### **Chate-Galvis Nazly G.**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia. | Unidad de Desarrollo Tecnológico en Nuevos Materiales (UDT), Polymeiker s.a.s., Montería – Colombia.

### **García-Quintero Angélica**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia. | Grupo de Investigación en Químico-, Bionalítica e Ingeniería de Datos (I-Data), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia.

### **Gaviria-Contreras Enadis**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia.

### **Libreros-Castillo Kevin H.**

Grupo de Investigación en Ciencias con Aplicaciones Tecnológicas (GI-CAT), Departamento de Química, Universidad del Valle, Cali - Colombia. | Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia.

### **Medellín Emiro J.**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Montería – Colombia. | Grupo de Investigación en Ingeniería, Innovación y Sostenibilidad (GIS). Solsosting s.a.s., Montería – Colombia.

### **Mora-Salgado Keybi E.**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia.

### **Ortega-Muñoz R. Tatiana**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia. | Grupo de Investigación en Ingeniería, Innovación y Sostenibilidad (GIS). Solsosting s.a.s., Montería – Colombia.

### **Palencia-Bolaños Andrea C.**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia. | Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible e Innovación (GIDSI), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia.

### **Palencia-Bolaños Manuel D.**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali – Colombia. | Unidad de Desarrollo Tecnológico en Nuevos Materiales (UDT), Polymeiker s.a.s., Montería – Colombia.

### **Palencia-Luna Víctor J.**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia. | Grupo de Investigación en Químico-, Bionalítica e Ingeniería de Datos (I-Data), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia. | Unidad de Desarrollo Tecnológico en Nuevos Materiales (UDT), Polymeiker s.a.s., Montería – Colombia.

### **Pulido Rodríguez D. Camila**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia. | Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible e Innovación (GIDSI), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia.

### **Torres-Palencia Emily**

Mindtech Research Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s., Cali/Montería – Colombia. | Unidad de Desarrollo Tecnológico en Nuevos Materiales (UDT), Polymeiker s.a.s., Montería – Colombia. | Programa de Química, Universidad Santiago de Cali, Cali – Colombia.

## Contenido

### 1. **Capítulo 1. Aguas subterráneas: una descripción de su estado actual a nivel mundial**

Páginas: 5-16

Resumen.

1.1. Introducción: el agua subterránea a nivel global: estado actual y desafíos.

1.2. Qué es, cuáles son sus características, importancia y usos.

1.2.1. ¿Qué es?

1.2.2. Características del agua subterránea.

1.2.3. Importancia y uso del agua subterránea.

1.3. Contaminaciones presentes en el agua subterránea.

1.4. Características químicas, físicas y microbiológicas.

1.4.1. Características químicas.

1.4.2. Características físicas.

1.4.3. Características microbiológicas.

1.5. Problemática general.

1.6. Distribución.

1.7. Tecnologías asociadas.

1.8. Leyes.

1.9. Relación con los ODS.

Agradecimientos.

Referencias.

**Citar como:** Gaviria-Contreras, E.; Pulido Rodríguez, D.C.; Alemán-Ramírez, Y.E.; Palencia-Bolaños, A.C.; Mora-Salgado, K.E. Aguas subterráneas: una descripción de su estado actual a nivel mundial. En: García-Quintero, A.; Palencia, M.; Combatt, E.M.; Valle-Zapata, H.A. (Eds). MT Pallantia-Publisher, Cali – Colombia, 2026, 17-53. DOI: 10.34294/b.006.c1.2026.05

## **2. Capítulo 2. Las aguas subterráneas en Colombia: Caribe y el departamento de Córdoba**

Páginas: 17-53

Resumen.

2.1 Introducción: Panorama de las aguas subterráneas en Colombia, el Caribe y Córdoba.

2.2. Distribución, usos sectoriales y demanda hídrica.

2.2.1. Contexto Colombia.

2.2.2. Región Caribe.

2.2.3. Córdoba.

2.3. Problemáticas y riesgos específicos.

2.4. Marco regulatorio para aguas subterráneas.

2.5. Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

2.6. Tecnologías disponibles y prácticas para la gestión sostenible.

Agradecimientos.

Referencias.

**Citar como:** Gaviria-Contreras, E.; Medellín-Fernández, E.J.; Ortega-Muñoz, R.T.; Bolaño Vásquez, R.A.; Palencia-Bolaños, A.C. Las aguas subterráneas en Colombia: Caribe y el departamento de Córdoba. En: García-Quintero, A.; Palencia, M.; Combatt, E.M.; Valle-Zapata, H.A. (Eds). MT Pallantia-Publisher, Cali – Colombia, 2026, 54-108. DOI: 10.34294/b.006.c2.2026.05

## **3. Capítulo 3. Aguas subterráneas como reservorios vitales para el equilibrio ambiental de la región**

Páginas: 54-108

Resumen.

3.1. Introducción.

3.2. Planes ambientales gubernamentales para la gestión de aguas subterráneas en el Departamento.

3.3. Principios de tratamiento de acueductos con aguas subterráneas y sistemas de tratamiento – bombeos artesanales.

3.3.1. Principios de tratamiento.

3.3.2. Sistemas de tratamiento de aguas subterráneas.

3.3.3. Bombeos artesanales: diseño sanitario mínimo, saneamiento y mantenimiento comunitario.

3.4. Exploración de aguas subterráneas en la región.

3.5. Concesiones para el uso de aguas subterráneas y aspectos ambientales en torno a su uso.

Agradecimientos.

Referencias.

**Citar como:** Bolaño-Vásquez, R.A.; Chate-Galvis, N.G.; Anaya-Tatis, L.R.; Libreros-Castillo, K.H.; Torres-Palencia, E. Aguas subterráneas como reservorios vitales para el equilibrio ambiental de la región. En: García-Quintero, A.; Palencia, M.; Combatt, E.M.; Valle-Zapata, H.A. (Eds). MT Pallantia-Publisher, Cali – Colombia, 2026, 109-162. DOI: 10.34294/b.006.c3.2026.05

#### **4. Capítulo 4. Aguas superficiales versus aguas subterráneas: Aspectos técnicos y económicos**

Páginas: 163-188

Resumen.

4.1. Introducción.

4.2. Características fisicoquímicas y microbiológicas.

4.3. Aspectos técnicos y económicos.

4.3.1. Extracción de agua superficial y subterránea.

4.3.2. Tratamiento de agua superficial y subterránea.

4.3.2.1. Características de un sistema de abastecimiento óptimo y de calidad.

4.4. Interacciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas en el departamento de Córdoba.

4.4.1. Características hídricas del departamento de Córdoba.

Agradecimientos.

Referencias.

**Citar como:** Bolaño-Vásquez, R.A.; Medellín-Fernández, E.J.; Palencia-Bolaños, M.D.; Palencia-Luna, V.J.; Ascanio, V.A. Aguas superficiales versus aguas subterráneas: Aspectos técnicos y económicos. En: García-Quintero, A.; Palencia, M.; Combatt, E.M.; Valle-Zapata, H.A. (Eds). MT Pallantia-Publisher, Cali – Colombia, 2026, 163-188. DOI: 10.34294/b.006.c4.2026.05

## **5 Capítulo 5. Uso de aguas subterráneas en comunidades vulnerables del departamento de Córdoba: Una aproximación sociológica**

Páginas: 189-211

Resumen

5.1. Introducción.

5.2. Participación comunitaria en torno a la gestión y gobernanza de las aguas subterráneas de la región (Departamento de Córdoba, Colombia).

5.3. Conflictos entre comunidades y entes gubernamentales-empresariales por el uso de aguas subterráneas.

5.4. Cosmovisión y cultura ancestral en torno al uso de aguas en comunidades campesinas e indígenas del departamento de Córdoba.

Agradecimientos.

Referencias.

**Citar como:** Alemán-Ramírez, Y.E.; Gaviria-Contreras, E.; Bolaño-Vásquez, R.A. Uso de aguas subterráneas en comunidades vulnerables del departamento de Córdoba: Una aproximación sociológica. En: García-Quintero, A.; Palencia, M.; Combatt, E.M.; Valle-Zapata, H.A. (Eds). MT Pallantia-Publisher, Cali - Colombia, 2026, 189-211. DOI: 10.34294/b.006.c5.2026.05

## Capítulo 1

# Aguas subterráneas: una descripción de su estado actual a nivel mundial

Enadis Gaviria-Contreras, Dayan Camila Pulido Rodríguez,  
Yerly E. Alemán-Ramírez, Andrea C. Palencia-Bolaños, Keybi E. Mora-Salgado

---

### Resumen

La gestión de las aguas subterráneas se consolida hoy como el eje central de la seguridad hídrica internacional, al ser el depósito de agua dulce líquida más vasto de la biósfera. Este documento examina su realidad técnica y ambiental, partiendo de la conceptualización del recurso como el agua almacenada en medios porosos y fisurados del subsuelo, cuyas propiedades físicas, químicas y microbiológicas definen su viabilidad para el consumo y la industria. A través de este análisis, se destaca el papel determinante de los acuíferos en la resiliencia de la agricultura y el suministro urbano, funcionando como un regulador crítico ante la inestabilidad de las fuentes superficiales. Sin embargo, el texto advierte sobre la fragilidad del sistema frente a la actividad humana, detallando cómo la infiltración de contaminantes y los ritmos de extracción insostenibles alteran la calidad y permanencia del recurso. Al abordar la distribución desigual de estos yacimientos a escala global, se concluye que el monitoreo riguroso y la comprensión profunda de estos sistemas son requisitos indispensables para mitigar los efectos del cambio climático y asegurar el equilibrio socioeconómico en las próximas décadas.

**Palabras claves:** Ciclo hidrológico, Acuífero, Gestión sostenible, Vulnerabilidad hídrica.

Citar como: Gaviria-Contreras, E.; Pulido Rodríguez, D.C.; Alemán-Ramírez, Y.E.; Palencia-Bolaños, A.C.; Mora-Salgado, K.E. Aguas subterráneas: una descripción de su estado actual a nivel mundial. En: García-Quintero, A.; Palencia, M.; Combatt, E.M.; Valle-Zapata, H.A. (Eds). MT Pallantia-Publisher, Cali – Colombia, 2026, 17-53. DOI: 10.34294/b.006.c1.2026.05

## **1.1. Introducción: el agua subterránea a nivel global: estado actual y desafíos**

El presente documento examina la problemática del agua subterránea desde una perspectiva global, poniendo énfasis en su situación actual y en los retos que condicionan su gestión sostenible. El propósito central de este trabajo es ofrecer una apreciación detallada de la crisis que enfrentan numerosos acuíferos alrededor del mundo, valorando tanto su nivel de explotación como los factores que determinan su vulnerabilidad, para ello, se revisan los procesos físicos y químicos que influyen en la calidad y composición del recurso, incluyendo la dinámica de recarga, los mecanismos de flujo subterráneo y las interacciones entre el agua y los distintos tipos de rocas y sedimentos que conforman los acuíferos. Asimismo, el análisis considera las presiones derivadas de actividades humanas que ponen en riesgo la disponibilidad futura del agua subterránea. Entre estas amenazas se destacan la extracción excesiva para uso agrícola, industrial y doméstico; la contaminación de origen urbano, agropecuario y minero; y los impactos asociados al cambio climático, como las modificaciones en los patrones de precipitación y el aumento de la intrusión salina en zonas costeras. Todos estos factores contribuyen a deteriorar la calidad del recurso y a reducir de manera significativa su capacidad de renovación.

El agua en general es un recurso limitado en nuestro planeta, un poco más del 97 % del agua es salada, concentrada en los océanos y mares. El restante, cerca del 2 % se encuentra en forma de hielo y corresponde a los casquetes polares. Seguida el agua subterránea, se estima un 0,5% del total, cuya reserva llega hasta 1.000 metros de profundidad (Auge, 2006). Esta situación genera una alarma sobre el cuidado de las escasas reservas de agua dulce, en específico, se estima que cerca 1000 millones de habitantes de Asia y aproximadamente 150 millones de

personas en América Latina dependen de forma directa e indirecta de manantiales, pozos y norias para su uso en el sector agrícola, doméstico y en menor proporción para uso industrial, además, las aguas subterráneas poseen una conexión intrínseca y constante con muchos otros componentes del entorno físico terrestre, cuyo fenómeno se puede observar en el ciclo hidrológico, donde el agua superficial y la atmosférica se filtran hacia el subsuelo, transformándose en aguas subterráneas que, a su vez, vuelve a emerger en masas de agua superficiales (ríos, lagos) o en el mar, o regresando a la atmósfera a través del proceso de evaporación (Naciones Unidas, 2022; Lawrence et al., 1998).

Debido al actual agotamiento de los acuíferos urbanos y el aumento constante en la demanda de agua, se ha vuelto necesario intensificar el uso de medidas alternativas en todo el mundo (Egbueri et al., 2023), en especial las regiones áridas cálidas y secas (Mays, 2013). Un informe del año 2016, indicó que India, que alberga aproximadamente el 16 % de la población mundial, solo accede al 4 % de los recursos hídricos del planeta, los cuales están experimentando un rápido descenso (Kumari & Singh, 2016). Además, según el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas, se estima que una quinta parte de la población mundial reside en regiones que ya experimentan una severa escasez física del recurso hídrico (Xu et al., 2018).

En este orden de ideas, es intuitivo predecir que la combinación de la elevada demanda de agua junto a la creciente escasez hídrica, representa una grave amenaza para la existencia humana, un riesgo que podría acentuarse significativamente en el futuro. Según la United Nations-Water (s. f.), la escasez de agua constituye un problema creciente a escala mundial. De forma complementaria, informes recientes de las Naciones Unidas indican que aproximadamente la

mitad de la población mundial experimentan escasez severa de agua al menos durante parte del año, mientras que cerca del 10 % vive en países con estrés hídrico alto o crítico. Este escenario puede conducir a las aguas subterráneas a una severa inestabilidad en la disponibilidad de este recurso. Así, a partir de esta síntesis se comparan diferentes perspectivas y se integran datos recientes que permiten comprender la magnitud del problema y la necesidad urgente de fortalecer las estrategias de gestión, monitoreo y protección de los sistemas de agua subterránea.

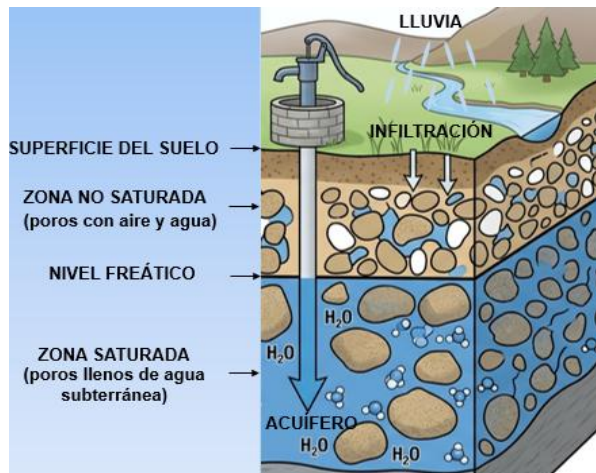
## **1.2. ¿Qué es?, ¿cuáles son sus características, importancia y usos?**

### **1.2.1. ¿Qué es?**

El agua subterránea es aquella porción de agua dulce que se ha filtrado a través del suelo o entre fisuras de las rocas hasta llegar al subsuelo en donde se encuentran formaciones geológicas porosas o fracturadas que contienen el líquido. Las precipitaciones son el origen de las aguas subterráneas las cuales normalmente siguen su curso dependiendo de los gradientes hidráulicos o aflorar en la superficie terrestre mediante obras de ingeniería como perforaciones, galerías de drenaje, túneles o alcanzar la superficie de forma natural a través de manantiales que contribuyen al abastecimiento de ríos, humedales y/o arroyos (Ordoñez Gálvez, 2011). De acuerdo con estimaciones, se cree que solo una pequeña fracción del ciclo hidrológico corresponde a los recursos de agua dulce del planeta, los cuales, por la precipitación, deshielos, o filtraciones de agua recargan los acuíferos. En específico, una fracción del agua de las precipitaciones se desplazan por escorrentía en la superficie terrestre, recogida progresivamente en canales y cauces de tamaños y órdenes diversos. Paralelamente otra fracción logra infiltrarse en el terreno, posteriormente parte de ella regresa a la atmósfera a través de la evaporación directa o mediante el proceso de

transpiración de las plantas. Finalmente, el agua que logra escapar del proceso de evapotranspiración pasa a recargar los acuíferos que en etapas subsiguientes se descargan en zonas húmedas, manantiales, lagos, ríos y en zonas costeras, aunque en estas últimas puede desaguar parcialmente (Sahuquillo Herráiz, 2009; Reilly et al., 2008).

Por otro lado, el agua subterránea se alberga en el subsuelo el cual se divide comúnmente en dos zonas: la primera es la zona no saturada, la cual se encuentra inmediatamente debajo de la superficie terrestre, contiene agua y aire en los espacios abiertos y la segunda zona es la saturada que se encuentra directamente debajo de la zona no saturada, la cual se caracteriza en que todos los poros y fracturas de la roca están llenos de agua a una presión mayor o igual que la atmosférica hasta alcanzar una capa impenetrable de roca, la parte superior de la zona saturada se denomina nivel freático el cual puede estar justo debajo o a cientos de pies por debajo de la superficie terrestre (**Figura 1.1.**).



**Figura 1.1.** Perfil de saturación del suelo. Fuente: Elaboración propia.

La capacidad de contención de agua en los acuíferos depende de la porosidad o cantidad de intersticios presentes en las rocas, así a mayor porosidad se puede retener una mayor cantidad de agua, sin embargo, la denominación “acuífero” es realmente valida cuando los bloques de roca – sedimentos poseen la capacidad de retener y ceder el agua. En específico, cuando las rocas poseen grandes cantidades de arcillas, estas pueden absorber el agua y retenerlas lo que impide el flujo del líquido (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2013). En cuanto a la infiltración el agua lluvia al caer al suelo se divide en dos componentes principales: la fracción infiltrada y el agua libre que genera escorrentía. El agua que se infiltra no solo modifica el contenido de humedad del suelo, sino que también puede alterar sus propiedades geomecánicas, e incluso, en muchos casos, provocar su desestabilización. Es responsable de generar un tipo significativo de erosión laminar, además de potenciar fenómenos de reptación y movimientos en masa de poca profundidad; del mismo modo, puede ser el origen de desbordamientos e inundaciones (Londoño & Chica, 1997).

### **1.2.2. Características del agua subterránea**

La calidad del agua subterránea depende en gran proporción de su composición mineral que se deriva de la ubicación geográfica y del origen geológico, así, por ejemplo, en suelos costeros el agua de mar tiende a infiltrarse en los acuíferos debido a eventos marinos adversos como maremotos o tsunamis, o transgresión marina debido al aumento del nivel del mar. Por otro lado, la irrigación de cultivos puede acarrear la salinización y aumento de contenido de sólidos disueltos en acuíferos poco profundos, así como la extracción minera y de hidrocarburos, vertimientos de aguas residuales, entre otras, puede generar contaminación de las fuentes de agua subterráneas, sin

embargo, es importante mencionar que algunas zonas poseen contaminantes en excesivas cantidades como fluoruros o arsénico tras procesos geogénicos (Naciones Unidas, 2022).

La presión creciente sobre las reservas de agua subterránea, manifestada tanto en su uso excesivo como en su contaminación progresiva, constituye una amenaza directa para el abastecimiento de agua potable de una proporción considerable de la población mundial. Cuando este recurso comienza a degradarse, también se reduce la capacidad de adaptación de las comunidades y de los sectores productivos frente a los impactos cada vez más visibles del cambio climático, lo que genera un escenario de vulnerabilidad hídrica cada vez más difícil de revertir. Asimismo, esta sobreexplotación no solo implica la disminución del volumen de agua disponible, sino que también modifica los gradientes hidráulicos y favorece procesos como la subsidencia del terreno o la intrusión salina, especialmente en áreas costeras. Por otra parte, la infiltración del agua de recarga funciona como un vehículo que puede arrastrar contaminantes procedentes de diversas actividades humanas. Fertilizantes, pesticidas, metales pesados, residuos industriales y descargas domésticas mal gestionadas penetran en el subsuelo y alcanzan las capas acuíferas, afectando su calidad de manera persistente y, en algunos casos, irreversible. Estos contaminantes pueden permanecer atrapados durante largos periodos, lo que dificulta considerablemente su remoción y compromete la potabilidad del recurso (Smith et al., 2016).

### **1.2.3. Importancia y uso del agua subterránea**

El agua subterránea ha servido como una solución esencial de abastecimiento para poblaciones y para fines de riego desde la antigüedad, especialmente en aquellos puntos geográficos que carecían de ríos u otras fuentes significativas de agua superficial.

Posteriormente se desarrollaron métodos más modernos de extracción como la instalación de bombas impulsadas por diferentes fuentes energéticas que a la fecha permanecen vigentes, este método ha originado un aumento importante de la utilización de las aguas subterráneas (Sahuquillo Herráiz, 2009). Ha tomado relevancia dado su actual y futura importancia como fuente de abastecimiento, en países desarrollados el uso del agua subterránea para fines urbanos es considerable. En muchos países europeos, esta fuente constituye más del 70 % del suministro total, alcanzando casi el 100 % en Dinamarca y superando el 50 % en los Estados Unidos. Además, el uso de agua subterránea para el riego supera el 50 % en la mayoría de los estados del Oeste de Estados Unidos (Sahuquillo et al., 2008) se considera un recurso económico, de fácil acceso y de importancia vital, ya que sustenta a aproximadamente dos mil millones de personas a escala global. Los agricultores la prefieren por su uso independiente, no requiere someterse a la espera de turnos para su uso; y, lo que es aún más crucial, el almacenamiento natural de los acuíferos ofrece una mayor garantía de seguridad en periodos de sequía, permitiendo utilizar el agua subterránea sola o en combinación con las fuentes superficiales. A pesar de la intensidad en el uso del agua subterránea y proliferación de obras de infraestructura en el subsuelo en muchas regiones la monitorización adecuada es deficiente o completamente inexistente. Esta situación compromete gravemente la gestión eficaz del recurso, conduciendo inexorablemente al deterioro de su calidad o a una disminución crítica en las reservas hídricas. La consecuencia directa de esta deficiencia puede ser la aparición de problemas significativos en el abastecimiento de agua potable a la población (Deluchi et al., 2013).

Los países desarrollados, caracterizados por la optimización de sus recursos hídricos, utilizan el agua subterránea para el consumo

humano en una proporción que supera claramente la del agua superficial, tal como lo evidencia la **Tabla 1.1**.

**Tabla 1.1.** Extracción anual del agua subterránea por continente, año 2017. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de AQUASTAT ([Food and Agriculture Organization of the United Nations \[FAO\]](#), s. f.), Eurostat (s. f.) y Margat y Van der Gun (2013).

Extracción de aguas subterráneas		
Continente	Km <sup>3</sup> /año	% del mundo
Asia	657	68
América del Norte	156	16
Europa	65	7
África	45	5
América del Sur	27	3
Australia y Oceanía	8	1
Mundo	956	100

A nivel global, la captación de agua subterránea suma 956 km<sup>3</sup>/año, con una concentración masiva en Asia, que acapara el 68% (657 km<sup>3</sup>/año) del consumo mundial. América del Norte sigue con el 16%, mientras que Europa registra un 7%. En contraste, las extracciones en África (5%), América del Sur (3%) y Oceanía (1%) son considerablemente menores. Estas cifras evidencian una marcada asimetría geográfica, donde la demanda asiática triplica la suma del resto de los continentes, reflejando una dependencia crítica de sus acuíferos ([Naciones Unidas, 2022](#)).

### 1.3. Contaminaciones presentes en el agua subterránea

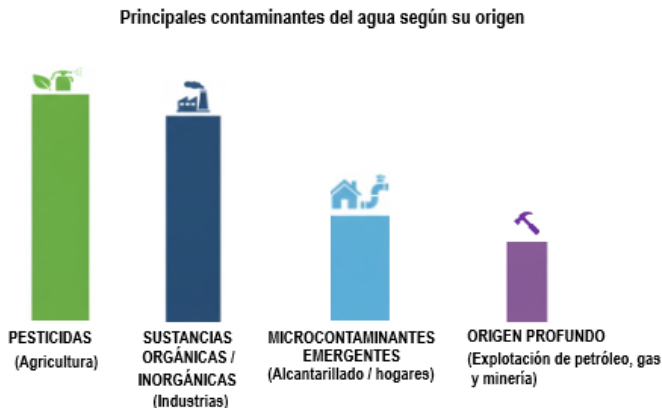
La contaminación de las aguas subterráneas se distingue por ser un fenómeno de muy difícil reversión. Una vez que un acuífero ha sido comprometido, las zonas afectadas tienden a retener los

contaminantes durante largos periodos, debido a la baja capacidad de renovación y a la lenta movilidad del agua en el subsuelo. Esta característica hace que cualquier afectación pueda perdurar en el tiempo, reduciendo de forma significativa la aptitud del recurso para el consumo humano, el uso doméstico o productivo y la preservación de los ecosistemas que dependen de él.

Las fuentes de contaminación de origen humano son diversas y, en su mayoría, se ubican en la superficie del terreno o en sus alrededores. Entre ellas destacan las actividades agrícolas, los sistemas de alcantarillado, las descargas domésticas, los procesos industriales, los vertederos y la infraestructura urbana como carreteras, canales, tuberías y tanques de almacenamiento. Sin embargo, también existen actividades humanas que introducen contaminantes directamente en zonas profundas del subsuelo, mucho más allá del nivel superficial. Entre estas se encuentran la extracción de petróleo y gas, ciertos tipos de perforaciones, operaciones mineras y la inyección de residuos en estratos geológicos inferiores. Dentro de todas estas fuentes, la contaminación de origen agrícola es una de las más extendidas a nivel mundial. Se clasifica como contaminación difusa, ya que aporta grandes volúmenes de nitratos, pesticidas y otros compuestos agroquímicos que se dispersan ampliamente en el acuífero. En contraste, los vertidos provenientes de industrias y viviendas suelen generar focos de contaminación puntual, localizados en sitios concretos. La variedad de sustancias industriales liberadas al ambiente es considerable e incluye microorganismos, radionúclidos y compuestos orgánicos e inorgánicos, cuya composición depende de los procesos específicos de cada sector productivo (Silva Arroyave & Correa Restrepo, 2009).

A ello se suman los residuos de origen doméstico transportados por las redes de alcantarillado, los cuales contienen microorganismos y

una creciente gama de “contaminantes emergentes”, capaces de persistir en el medio subterráneo y representar nuevos desafíos para la protección de los acuíferos (**Figura 1.2.**) (Lapworth et al., 2012).

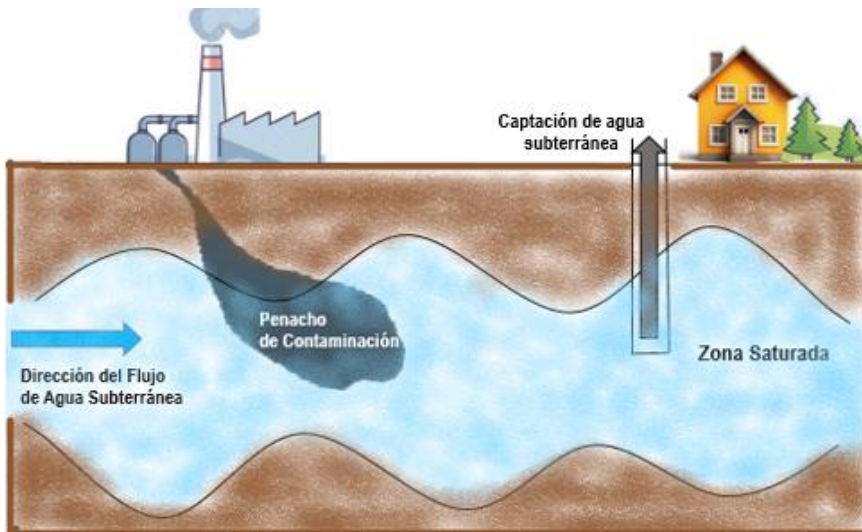


**Figura 1.2.** Caracterización de agentes contaminantes del agua subterránea.  
Fuente: Elaboración propia.

Es importante señalar que los contaminantes geogénicos (como el fluoruro y arsénico) se encuentran presentes en el subsuelo de forma natural. La actividad humana, particularmente el bombeo intensivo de agua subterránea, puede contribuir a la liberación y dispersión de compuestos contaminantes que estaban previamente atrapados en la matriz rocosa del acuífero y estos se dispersen a través del subsuelo (**Figura 1.3.**). Lamentablemente, la contaminación de las aguas subterráneas es un fenómeno que se considera casi irreversible: al momento de contaminarse, las zonas afectadas del acuífero tienden a retener ese estado de contaminación. Debido a que gran parte de los focos de contaminación generados por la actividad humana se sitúan en la superficie o cerca de ella, la contaminación se produce con mayor

frecuencia en los acuíferos de baja profundidad, especialmente en aquellos que carecen de una capa protectora compuesta por materiales de baja permeabilidad.

No obstante, el aumento constante de las actividades humanas en los dominios más profundos del subsuelo (como la fracturación hidráulica, desarrollo de hidrocarburos, almacenamiento en el subsuelo, etc.) la contaminación también está invadiendo zonas de acuíferos más profundas, aunque está algo menos extendida, la afectación de las aguas subterráneas es un problema significativo en prácticamente todas las áreas que se caracterizan por una alta densidad de población y/o una producción industrial o agrícola importante (Lapworth et al, 2012).



**Figura 1.3.** Contaminación del suelo y el agua subterránea. Fuente: Elaboración propia.

## 1.4. Características químicas, físicas y microbiológicas

### 1.4.1. Características químicas

A continuación, se detallan los procesos químicos que ocurren en el agua subterránea y que definen sus características químicas.

Las características químicas del agua son aquellas que vienen dadas por la interacción constante de estos con gases y sólidos presentes en el suelo. La disolución de gases (como N<sub>2</sub>, Ar, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, He, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S, entre otros) ocurre típicamente en la zona vadosa o en zonas de hidrocarburos, lo que frecuentemente resulta en un agua subterránea ligeramente ácida y, por lo tanto, químicamente agresiva. El grado de disolución química está regulado por la temperatura, la presión, la concentración previa del soluto y la solubilidad de los minerales.

La composición química del agua subterránea está definida por diversos procesos geoquímicos. En este contexto, es útil conocer los componentes que se encuentran en concentraciones típicas o más comunes. A continuación, la **Tabla 1.2.** detalla los principales parámetros de monitoreo del agua subterránea los cuales son indicadores esenciales de la calidad general del recurso.

Otros minerales solubles como el yeso, la calcita y la halita, liberan iones principales como Ca, Mg, Na, K, CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> y Cl. Por su parte, los silicatos y las rocas consideradas "insolubles" solo contribuyen con elementos traza o iones minoritarios (Tóth, 2000).

La química del acuífero surge de una evolución hidrogeoquímica donde el agua actúa como motor de cambio. Procesos como la hidratación y el ataque ácido inician la disolución mineral y la porosidad, mientras que la hidrólisis y la reducción bacteriana ajustan

la carga iónica según la dinámica del flujo (**Tabla 1.3**). Este equilibrio natural, complementado por la concentración de sales vía evaporación, es sumamente vulnerable: la extrema lentitud del movimiento subterráneo hace que cualquier impacto humano sea persistente y casi irreversible.

**Tabla 1.2** Principales parámetros de monitoreo del agua subterránea. Fuente: Elaboración propia, adaptado de Naciones Unidas (2022).

Categoría	Parámetros
Parámetros de atención básica	Conductividad
	pH
	Temperatura
	Nitratos
	Cloruros
Parámetros suplementarios de baja frecuencia	Cationes principales como $Ca^{+2}$ , $K^+$ , $Mg^{+2}$ y $Na^+$
	Aniones principales como $HCO_3^-$ y $SO_4^{2-}$
	Sólidos disueltos totales
Control microbiológico	Coliformes totales
	Estreptococos fecales
	<i>Escherichia coli</i>
Parámetros suplementarios (necesarios en entornos hidrogeológicos específicos)	Fluoruro
	Arsénico soluble
	Uranio soluble
	Amonio
	Hierro soluble
	Manganeso soluble
Parámetros adicionales (sí se presentan presiones agrícolas o industriales específicas)	Ortofosfato
	Plaguicidas
	Productos orgánicos volátiles
	Metales pesados
	Hidrocarburos

**Tabla 1.3.** Procesos son de gran importancia en la evolución del agua subterránea. Fuente: elaboración propia, adaptado de [Tóth \(2000\)](#).

Etapa del flujo	Proceso dominante	Efecto en la química del agua
Recarga (Superficie)	Hidratación/ Evaporación	Aumento de TSD inicial, presencia de ácidos orgánicos.
Tránsito (Intermedio)	Hidrólisis/ Ácido Ataque	Disolución de minerales, aumento de cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ ).
Descarga (Profundo)	Reducción de Sulfatos	Disminución de $\text{SO}_4^{2-}$ , aparición de $\text{H}_2\text{S}$ , firma geoquímica madura.

**El proceso de Hidratación:** Proceso geoquímico fundamental en la evolución de las aguas subterráneas, que implica la incorporación de moléculas de agua tanto a la matriz cristalina de diversos minerales como la adsorción a los iones que se encuentran disueltos. Este fenómeno, ilustrado en el paso de anhidrita a yeso o la conversión de biotita a vermiculita, representa una etapa inicial crítica en la meteorización y alteración de los materiales del subsuelo ([Tóth, 2000](#)).

**Hidrólisis:** Es efectiva solo bajo dos condiciones: que los iones producidos se transporten de inmediato o que exista un suministro constante de reactivos. De lo contrario, el sistema alcanzaría pronto un equilibrio químico, deteniendo por completo la reacción ([Tóth, 2000](#)).

**El ataque directo al macizo rocoso:** Es un proceso químico común en el agua subterránea. Los ácidos más comunes que provocan esta alteración son el ion bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ), el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), además de diversos compuestos orgánicos entre los que destacan los ácidos húmicos y fúlvicos ([Tóth, 2000](#)).

**La reducción de sulfatos:** Ocurre principalmente debido a la actividad de bacterias sulfato-reductoras, las cuales requieren contacto con

materia orgánica (como carbón, petróleo o lignito). Un ejemplo químico de esta reacción es la interacción del sulfato con el gas metano ( $\text{CH}_4$ ), reacción que deriva en la formación de ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y bicarbonato de calcio ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) (Tóth, 2000).

**La concentración de solutos (TSD) en el agua subterránea:** Es el resultado de la interacción entre la disolución de minerales y los procesos de evaporación. Este fenómeno se manifiesta principalmente en la zona no saturada durante los periodos de estiaje; posteriormente, estas sales son transportadas hacia el subsuelo con la llegada de nuevas precipitaciones. A mayor temperatura y mayores intervalos entre lluvias, más alta será la concentración de sales. En las zonas donde el flujo subterráneo descarga en la superficie, la evaporación puede incluso generar la salinización del suelo o la formación de depósitos salinos continentales por precipitación (Jankowski & Jacobson, 1989).

**La composición química:** Actúa como una impronta de su trayectoria por el subsuelo. Si bien procesos naturales como la disolución y la reducción microbiana rigen su equilibrio, la presión antropogénica (especialmente de sectores industriales y agroacuícolas) altera esta firma hidroquímica mediante cargas contaminantes que el sistema no puede depurar por sí solo. La gravedad de esta alteración radica en la historia cinética del acuífero ya que al ser los tiempos renovación extremadamente prolongados, cualquier perturbación en la calidad del agua no es solo un problema inmediato, sino un impacto legado que compromete la seguridad hídrica de las próximas generaciones.

#### 1.4.2. Características físicas

Las características físicas del agua subterránea son aquellas propiedades que pueden ser observadas, medidas y se determinadas

por los siguientes procesos físicos que intervienen directamente en su composición, siendo cruciales porque delimitan el comportamiento del recurso hídrico en su medio y determina su apropiado uso en diversos sectores.

**Temperatura:** Esta variable presenta una oscilación mínima, vinculándose directamente con el promedio térmico anual de la atmósfera local. No obstante, al aumentar la profundidad, su comportamiento se rige por el gradiente geotérmico, el cual registra un incremento de temperatura de 1°C por cada 30 metros de descenso (Collazo Caraballo & Montaña Xavier, 2012).

**Conductividad eléctrica:** Mide la capacidad del agua para transmitir electricidad, propiedad que se eleva según la concentración de iones disueltos. En aguas subterráneas los valores suelen registrarse en el orden de los  $10^{-6}$  mhos/cm (referenciados a 25°C). Este parámetro aumenta con la temperatura (Collazo Caraballo & Montaña Xavier, 2012).

**Turbidez:** representa la resistencia del agua al paso de la luz, fenómeno provocado por la suspensión de partículas como limos, arcillas y materia orgánica. Estos sólidos dispersan la radiación lumínica, reduciendo la transparencia del fluido (Collazo Caraballo & Montaña Xavier, 2012).

**Color:** Esta propiedad deriva de los constituyentes disueltos en el medio acuoso, originados fundamentalmente por la degradación y lixiviación de la materia orgánica (Collazo Caraballo & Montaña Xavier, 2012).

**Olor y sabor:** Están íntimamente relacionados entre sí al punto que muchas sensaciones identificadas como "gusto" corresponden en

realidad a la percepción del olfato. Aunque su evaluación es subjetiva, existen umbrales químicos claros: concentraciones de cloruros superiores a 300 mg/L confieren un sabor salino, mientras que niveles de sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) por encima de 400 mg/L aportan matices salobres y amargos (Collazo Caraballo & Montaña Xavier, 2012).

La naturaleza del agua subterránea está definida por la litología del subsuelo; la roca no solo es un contenedor, sino un reactor químico que aporta identidad física al recurso (**Tabla 1.4**). No obstante, la presión antropogénica rompe este equilibrio mediante la sobreexplotación (que altera la salinidad y densidad) y la infiltración de residuos (que degrada las propiedades organolépticas originales). Esta alteración física suele ser el primer indicio de un impacto ambiental persistente.

**Tabla 1.4.** Influencia del medio Geológico en la estabilidad de parámetros físicos y el impacto desequilibrante de las actividades antrópicas. Fuente: Elaboración propia, adaptado de Collazo Caraballo & Montaña Xavier (2012).

Parámetro	Influencia Geológica Predominante	Factor de Desequilibrio Humano
Temperatura	Profundidad y flujo de calor terrestre.	Inyecciones industriales o urbanismo.
Conductividad Eléctrica	Disolución de minerales por interacción agua-roca.	Intrusión salina por sobreexplotación.
Turbidez	Tamaño de grano y velocidad de flujo.	Construcción de pozos deficiente o deforestación.
Olor y Color	Presencia de materia orgánica fósil o minerales.	Lixiviados de basura y filtraciones de alcantarillado.

### 1.4.3. Características microbiológicas

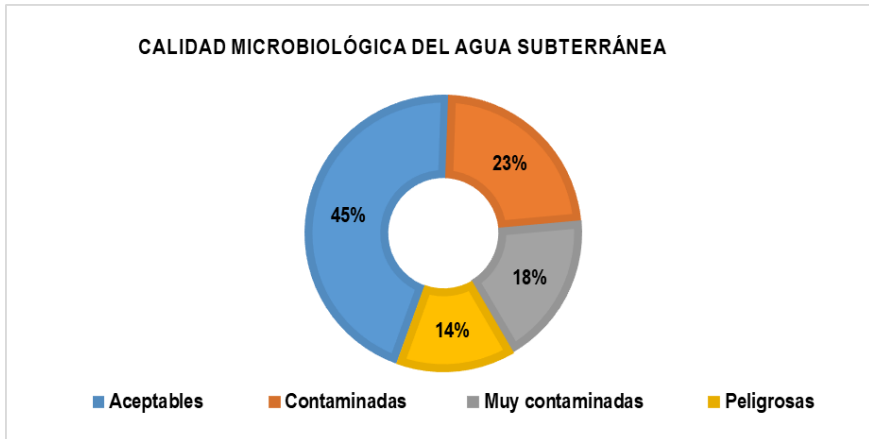
Las propiedades microbiológicas del agua se refieren a la existencia y comportamiento de diversos microorganismos presentes en este recurso, entre los que se encuentran bacterias, virus, protozoos y

ciertos tipos de algas. Estos elementos constituyen un indicador fundamental para evaluar la seguridad sanitaria del agua. La presencia de contaminación biológica puede originarse por la eliminación inapropiada de residuos domésticos, prácticas de saneamiento insuficientes o in situ, así como por la gestión inadecuada de desechos generados en actividades agrícolas, piscícolas, ganaderas y otras prácticas productivas (Pacheco Ávila et al, 2004).

Uno de los vectores de contaminación más comunes son Los coliformes de origen fecal están presentes tanto en el entorno natural como en los excrementos de personas y animales. Por esta razón, su evaluación se emplea como un indicador que permite identificar la posible presencia de microorganismos patógenos en los pozos que suministran agua a los sistemas de abastecimiento público (Lillibrige, 2000; Ríos-Tobón et al., 2017).

Los estudios sobre la calidad del agua subterránea en los municipios de Yucatán, México, permiten clasificar el estado microbiológico de las muestras según las siguientes categorías: un 45 % resulta aceptable, mientras que el resto presenta diversos grados de afectación, distribuidos en un 23 % como contaminadas, un 18 % como peligrosas y un 14 % como muy contaminadas (**Figura 1.4.**). Para cumplir con la calidad bacteriológica del agua potable, tal como lo establece la resolución 2115 de 2007 (Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007) (que complementa el Decreto 1575 de 2007) (Presidencia de la República de Colombia, 2007), se requiere la implementación de un sistema de cloración controlado. El control es crucial, ya que las aguas subterráneas con una alta densidad de organismos coliformes fecales exigen una mayor dosificación de cloro. En los casos en que el suministro de cloro resulte insuficiente o se presenten fallas en el

tratamiento, se debe recomendar a la población hervir el agua antes de consumirla (Pacheco Ávila et al., 2004).



**Figura 1.4.** Clasificación microbiológica del agua subterránea. Fuente: Elaboración propia, información tomada de Pacheco Ávila et al. (2004).

Es crucial actuar de inmediato ante sistemas de abastecimiento que presenten una elevada contaminación bacteriológica. Las acciones de remediación deben incluir, por ejemplo, la verificación urgente de la presencia de granjas pecuarias o letrinas en las proximidades del pozo que puedan ser la fuente de la contaminación hídrica. De confirmarse su proximidad, se debe proceder a su reubicación con el objetivo de mejorar la calidad del agua abastecida (Pacheco Ávila et al., 2004).

### 1.5. Problemática general

Se presentan problemas adicionales cuando el agua de recarga introduce contaminantes químicos derivados de la actividad agrícola, industrial o de descargas residuales. Debido a esto, resulta esencial

evaluar de manera continua estos riesgos y, simultáneamente, realizar análisis exhaustivos a los sistemas de abastecimiento de agua potable para garantizar el estricto cumplimiento de las normas sanitarias vigentes. Una vez que se identifica un problema de contaminación, es imperativo tomar medidas correctivas inmediatas para subsanarlo. Un ejemplo de esta acción se observó en Escocia, donde un monitoreo cuidadoso permitió identificar un aumento significativo en las concentraciones de nitratos en varios acuíferos importantes (Smith et al., 2016).

Históricamente, los derechos de uso del agua subterránea solían estar vinculados a la propiedad de la tierra, otorgando a los dueños la facultad de extraer el recurso hídrico bajo su propiedad. El conflicto surge debido a la naturaleza compartida de las reservas subterráneas, ya que un vecino puede reclamar idénticos derechos sobre el mismo acuífero. Si dicho vecino extrae grandes volúmenes de agua (ya sea para riego o para operar una embotelladora), esto puede resultar en el agotamiento y secado del pozo del primer propietario. La competencia por el uso del agua subterránea se agrava significativamente en aquellos lugares donde no existen requisitos formales de licencias que regulen los términos y condiciones de extracción. Esta ausencia de regulación es problemática porque no permite establecer límites claros sobre los volúmenes ni las tasas de extracción permitidas. Otra problemática importante es la subvaloración del recurso hídrico subterráneo. Este hecho contribuye directamente a la extracción excesiva del agua, a una baja eficiencia en su consumo y a una inversión insuficiente, tanto a nivel individual como comunitario, para asegurar la protección de su calidad. Sin embargo, es bastante simplista pensar asumir que los problemas de degradación del agua subterránea pueden abordarse exclusivamente mediante el uso de instrumentos económicos, como establecer tarifas más altas por la extracción, el consumo o la descarga de contaminantes (Smith et al., 2016).

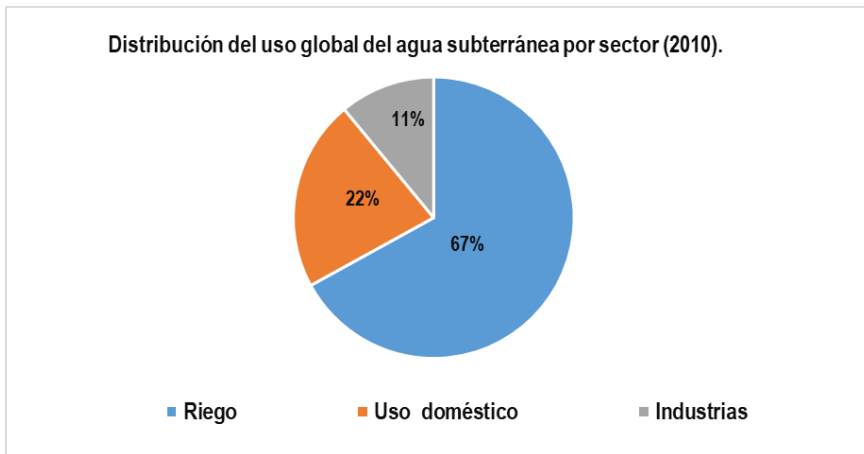
Una estrategia efectiva mediante la identificación y el enfoque en un problema específico y evidente, evita riesgos como la disminución del nivel freático, la contaminación directa del agua potable, amenazas a la subsistencia de los productores, a la seguridad alimentaria a nivel nacional, la pérdida de biodiversidad en los humedales, o la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático. Centrarse en asuntos específicos que impactan directamente en preocupaciones prioritarias facilita la comprensión de la urgencia y sirve como un motivador para que las personas se unan y actúen. Por ejemplo, una coalición de usuarios locales, organizaciones no gubernamentales (ONG) y agencias de manejo hídrico puede emprender un proyecto específico o establecer un programa coordinado de acción (Smith et al., 2016).

No obstante, la capacidad para diagnosticar de manera precisa los problemas actuales y futuros que afectan a las aguas subterráneas depende fundamentalmente de poseer datos confiables sobre las condiciones del acuífero y de un monitoreo ininterrumpido de los niveles y la calidad del agua. Los sistemas nacionales de monitoreo resultan esenciales para identificar el momento preciso en que se requiere una intervención. Además, la estimación tanto de la capacidad como de la vulnerabilidad de un acuífero exige el mapeo detallado de las características del suelo y la roca (Smith et al., 2016).

## **1.6. Distribución**

Se calcula que el volumen total de agua dulce almacenada en el planeta oscila en un rango de 8 y 10 millones de kilómetros cúbicos (km<sup>3</sup>). En el año 2010, la extracción anual a nivel mundial de agua subterránea alcanzo aproximadamente los 1000 kilómetros cúbicos (km<sup>3</sup>), lo que represento cerca de un 26% de toda el agua dulce extraída a nivel mundial. Respecto a la distribución de este volumen de agua

subterránea extraída, el 67% se destinó para riego, el 22% a propósitos domésticos y 11% restante a la industria (**Figura 1.5.**) (Smith et al., 2016).

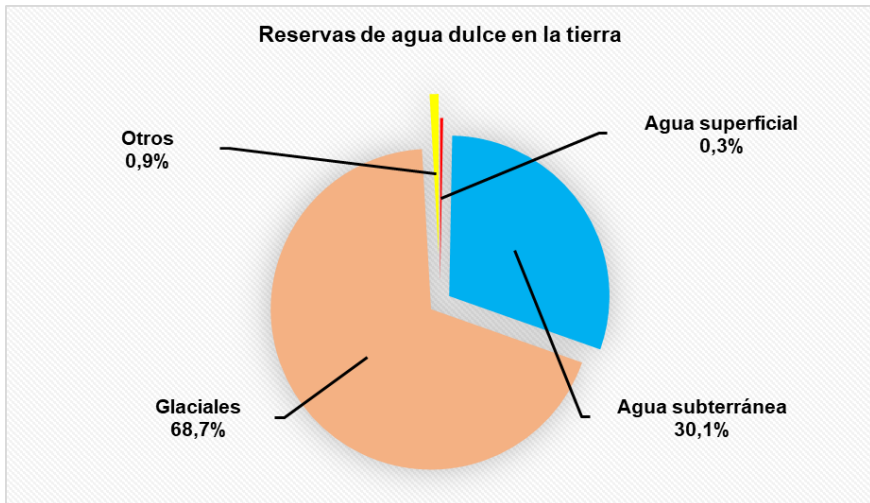


**Figura 1.5.** Uso del agua subterránea a nivel mundial por sector en el año 2010. Fuente: Adaptado de Acuíferos: Gestión sostenible de las aguas subterráneas (Smith et al., 2016).

El agua subterránea es un recurso vital, dado que suministra aproximadamente el 50 % del agua potable a nivel mundial y cerca del 43 % del agua requerida para el riego agrícola. Se calcula que 2500 millones de personas dependen de forma exclusiva del agua subterránea para su abastecimiento de agua potable. Por consiguiente, la utilización y la calidad de este recurso hídrico mantienen un vínculo directo con la salud, los medios de vida y la seguridad alimentaria de la población mundial, además de ser cruciales para la prosperidad y el desarrollo económico global. La salud de numerosos ecosistemas acuáticos depende directamente de la condición y el funcionamiento de los acuíferos, debido a las complejas interacciones hidrológicas que

existen entre las aguas subterráneas, los ríos y los humedales. La incapacidad de manejar sosteniblemente este recurso pone en riesgo enormes beneficios cruciales para el bienestar humano, el desarrollo sostenible y la conservación de la biodiversidad (Smith et al., 2016).

La **Figura 1.6.** anexa presenta la distribución porcentual de las reservas de agua dulce en la tierra. Esta representación visual es fundamental para contextualizar la disponibilidad real del recurso en sus diversos reservorios (Glaciales, subsuelo, superficie y otros) (Smith et al., 2016).



**Figura 1.6.** Distribución y reservas del agua dulce en la Tierra. Fuente: Adaptado de Acuíferos: Gestión sostenible de las aguas subterráneas (Smith et al., 2016).

La extracción de agua no se distribuye de manera uniforme, concentrándose particularmente en las regiones áridas y semiáridas

del mundo. En estas zonas, el aumento acelerado de la demanda hídrica es consecuencia directa de la simultánea expansión de la agricultura de riego y el crecimiento demográfico global. Como consecuencia directa, la sobreexplotación de las reservas de aguas subterráneas ha causado una disminución significativa en los niveles de agua de los acuíferos importantes (Smith et al., 2016).

### **1.7. Tecnologías asociadas**

Para controlar la extracción y mitigar la contaminación, se suelen implementar diversos instrumentos económicos. Estos incluyen la aplicación de cargos y costos por el uso del recurso, así como la provisión de subsidios destinados a fomentar la conservación o a la adopción de tecnologías para el control de la contaminación. Una de estas tecnologías es la teledetección. Ahora las imágenes satelitales son asequibles y muchas organizaciones han desarrollado herramientas de interpretación para mapear en alta resolución los afloramientos de los acuíferos, el consumo del agua subterránea y para estimar la evapotranspiración total real (Smith et al., 2016).

Los sistemas acuíferos representan la principal fuente de abastecimiento de agua en muchas regiones del mundo. Un caso notable es Cuba: la capital, La Habana, con aproximadamente tres millones de habitantes, depende del agua subterránea para el 99% de su suministro. En este país, se ha implementado la siguiente tecnología: Tecnología AQÛIMPE (Hernández et al., 2012).

El software AQÛIMPE, desarrollado y aplicado en Cuba, consiste en un conjunto de programas diseñados para llevar a cabo la simulación matemática del flujo transitorio y bidimensional en una cuenca subterránea. Sus principales características distintivas son las siguientes:

- **Enfoque Numérico:** Emplea el Método de Elementos Finitos (MEF) usando triángulos cuadráticos, lo que permite una discretización eficiente y una fácil adaptación a zonas complejas.
- **Rendimiento y Acceso:** Utiliza un algoritmo optimizado que reduce la necesidad de memoria, haciendo posible la simulación de acuíferos extensos en microcomputadoras comunes.
- **Tipos de Acuíferos:** Simula acuíferos de tipo freático y confinado, abordando tanto sistemas cerrados como abiertos.
- **Interacción Hidrológica:** Permite modelar el fenómeno de la intrusión salina en acuíferos costeros y simula el intercambio hídrico con cuerpos de agua superficiales como lagos o embalses.
- **Escala de Aplicación:** La versión WinAQE facilita la simulación de problemas a escala local (como campos de pozos), crucial para el control operativo y la gestión costera.

A pesar de su constante desarrollo desde su creación, el software AQÛIMPE enfrentó una limitación importante: la malla de triángulos requerida para aplicar el Método de Elementos Finitos (MEF) debía definirse manualmente. Este proceso resultaba ser muy laborioso, incrementaba la posibilidad de cometer errores y restringía la capacidad de evaluar rápidamente múltiples variantes de simulación (Hernández et al., 2012).

Un estudio reciente, encabezado por el IDAEA-CSIC, ha comprobado la eficiencia estacional de un novedoso sistema de tratamiento descentralizado. Dicho sistema está diseñado para limpiar aguas subterráneas afectadas por contaminantes como nitratos, pesticidas y genes de resistencia a antibióticos. Ante el alto costo de los métodos

convencionales, el proyecto validó en plantas piloto una solución basada en la naturaleza que combina bacterias con un biofiltro de madera y corcho más un sistema de cultivo de microalgas. Este enfoque ofrece una alternativa sostenible y económica para eliminar eficazmente los contaminantes, incluso en concentraciones muy altas de nitratos, siendo ideal para la gestión hídrica en zonas rurales ([Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua \[IDAEA-CSIC\], 2025](#)).

El acceso al agua subterránea es, frecuentemente, libre para todos y está determinado en gran medida por la tecnología disponible. Quien posee las bombas más potentes y la capacidad de perforar a mayor profundidad puede extraer la mayor parte del recurso impunemente, lo que resulta en un claro perjuicio para los demás usuarios. Como consecuencia directa, la injusticia en la distribución del agua subterránea es un problema cotidiano que se agrava continuamente ([Wester & Hoogesteger-van Dijk, 2011](#)).

## 1.8. Leyes

Hoy en día es ampliamente reconocido, aunque aún en espacios más bien limitados, que la contaminación de las aguas subterráneas ha alcanzado niveles críticos debido a la filtración de metales pesados, nitratos agrícolas y productos químicos persistentes. En diversas regiones, tanto de Colombia como de otros países, el uso excesivo de fertilizantes ha elevado la toxicidad de los acuíferos, provocando graves riesgos para la salud pública y la degradación de ecosistemas. Además, la fracturación hidráulica y la gestión deficiente de residuos industriales se han identificado como procesos que ocasionan daños irreversibles.

La creación de leyes específicas para proteger los acuíferos cada vez es más un aspecto imperativo de los países como resultado no sólo de la cada vez más creciente concientización ambiental, sino también por la relevancia e indispensabilidad del recurso hídrico como eje fundamental de desarrollo económico y bienestar social. Tres razones críticas:

- *La vulnerabilidad técnica de las aguas subterráneas.* A diferencia de un río que puede limpiarse con el flujo constante, un acuífero contaminado por químicos industriales o pesticidas puede tardar siglos en recuperarse. En este sentido, la ley debe actuar de forma preventiva, ya que la remediación suele ser, en la mayoría de los casos, técnica e inviable económicamente.
- *Seguridad alimentaria.* Una realidad en muchos países es que gran parte de su agricultura depende del bombeo de agua subterránea. Sin regulaciones que limiten la extracción, las sociedades se enfrentan al agotamiento de las reservas de agua, lo que pondría en riesgo el suministro de alimentos y la estabilidad económica de los países.
- *Resiliencia climática.* En un mundo con sequías cada vez más severas, el agua subterránea es una fuente de provisionamiento. Así, es claro que una legislación sólida garantiza que las futuras generaciones tengan acceso al recurso.

La regulación legal de las aguas subterráneas ha experimentado una evolución lenta a lo largo de la historia legislativa del país, manteniéndose sistemáticamente relegada en importancia frente a la normativa aplicada a las aguas subterráneas (Rivera Bravo, 2015). La

gestión y el uso eficiente de este recurso hídrico deben enmarcarse en el cumplimiento de la siguiente normativa vigente, la cual se describe a continuación:

- **Código Civil (1857):** Estableció el carácter privado del recurso; el dueño del suelo era propietario del agua subyacente y podía extraerla libremente, incluso causando perjuicio a terceros.
- **Código de Aguas (1951):** Limitó el derecho del propietario a la bebida y uso doméstico (desprivatización parcial). Para otros usos, se exigía una "merced" (derecho de aprovechamiento).
- **Código de Aguas (1967):** Fortaleció el rol de la autoridad (DGA), otorgándole facultades para regular, paralizar y sancionar la exploración. Además, habilitó a organismos estatales a explorar y explotar aguas en terrenos privados con previa autorización e indemnización.
- **Código de Aguas (1981):** A pesar de ser el código vigente, sigue siendo insuficiente y carece de un marco regulatorio detallado, dedicando solo una décima parte de sus artículos a la materia.
- **Reglamento (2014):** Se emitió un Reglamento específico para regular la exploración y explotación de aguas subterráneas (Decreto N° 203), buscando otorgar certeza jurídica y técnica y abordar conceptos como áreas de protección y recarga artificial.

En el marco de la regulación sobre el dominio público de las fuentes de agua, el Consejo de Estado (Departamento de Justicia) llevó a cabo un análisis crucial para delimitar los derechos de uso privado del recurso. A continuación, se detallan las disposiciones legales esenciales evaluadas en este contexto, las cuales rigen la concesión y el

aprovechamiento del agua en Colombia (Consejo de Estado de Colombia, 2011) (ver Tabla 1.5).

**Tabla 1.5.** Disposiciones legales colombianas en relación con la concesión y el aprovechamiento de agua potable.

Ley	Disposición específica
Artículo 86, Decreto 2811 de 1974.	Toda persona tiene derecho a utilizar aguas de dominio público para necesidades elementales (propias, familiares y animales) sin causar perjuicios ni alterar el recurso o su cauce
Artículo 88, Decreto 2811 de 1974.	Cualquier otro uso de las aguas de dominio público requiere concesión (salvo disposiciones especiales).
Artículo 89, Decreto 2811 de 1974.	Las concesiones están sujetas a la disponibilidad del recurso y a las necesidades del objeto para el cual se destinan.
Artículos 36 y 37, Decreto 1541 de 1978.	Toda persona requiere concesión para el aprovechamiento; la precedencia cronológica en la concesión no otorga prioridad y el Estado no garantiza el caudal por causas naturales.
Ley 41 de 1993, Arts. 1-4, y Decreto 1881 de 1994, Arts. 1-2.	No establecen normas sobre concesión de aguas ni limitan la solicitud de concesión a una única entidad.
Decreto 1541 de 1978, Arts. 36 y 37.	Toda persona (natural o jurídica) requiere concesión para el aprovechamiento de aguas.
Norma sobre Adecuación de Tierras (Implícita).	En obras de adecuación de tierras, la autoridad administradora de dichas obras es quien puede obtener y solicitar la concesión de aguas.
Artículo 21, Ley 393 de 1997.	Ordena a la entidad administradora de Distrito de Riego (ASORRECIO) legalizar el uso de las aguas ante la Corporación Autónoma Regional (CORTOLIMA).
Sentencia de Acción de Cumplimiento (Exp. ACU-211, 1998).	Ordenó a la Asociación ASORRECIO abstenerse de realizar cobros de tarifas a la Compañía Industrial Pajonales S.A. por el uso de aguas de la quebrada Las Palmas.
Resoluciones 661 de 1965, 1506 de 1983 y 1373 de 1999.	Reafirman el derecho de concesión de aguas sobre la quebrada Las Palmas a favor de la empresa PAJONALES S.A.

## **1.9. Relación con los ODS**

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) propone alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6: "Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos". Para lograr esta meta fundamental antes de 2030, se proponen diversas acciones clave, entre las que se incluyen: asegurar el acceso universal y equitativo al agua potable y al saneamiento, mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, incrementar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos en todos los sectores, impulsar la gestión integrada del recurso, y proteger los ecosistemas relacionados con el agua. Todo esto se complementa con la ampliación de la cooperación internacional y el fortalecimiento de la participación comunitaria en la gestión hídrica (Bocanegra, 2021).

Los ODS reconocen la importancia de las cuestiones hídricas por derecho propio y como requisito indispensable para la consecución de numerosos otros objetivos. En este contexto, el derecho humano al agua y define como la facultad de toda persona a disponer de un suministro de agua que sea suficiente, aceptable, salubre, accesible y asequible para cubrir sus necesidades personales y domésticas. El agua constituye la base del desarrollo sostenible. Los recursos hídricos, junto con la amplia gama de servicios que ofrecen, son el soporte fundamental para la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental. Desde la seguridad alimentaria y energética hasta la salud humana y ambiental, el agua contribuye directamente a mejorar el bienestar social y el crecimiento inclusivo, impactando directamente en la subsistencia de miles de millones de personas en el mundo (Bocanegra, 2021).

El agua representa un objetivo transversal esencial, estrechamente ligado a las metas de desarrollo de las sociedades. Estos objetivos

buscan no solo fomentar la dignidad humana, sino también asegurar que los avances logrados sean sostenibles a largo plazo (UN-Water, 2015). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) están intrínsecamente interrelacionados, y gran parte de ellos dependen de una gobernanza y gestión del agua eficientes para garantizar su uso en la alimentación, la protección ambiental y la elevación de la calidad de vida. El desafío principal es avanzar en estos espaciosos objetivos de sostenibilidad sin causar impactos o daños en otras zonas del sistema. Esto exige la implementación de ciencia integrada, un pensamiento sistémico e instituciones inclusivas. Este enfoque es coherente con la estrategia utilizada para establecer los ODS, que representan un conjunto integral y articulado de metas de sostenibilidad global (Naciones Unidas, 2023).

El desafío principal es avanzar en estos vastos objetivos de sostenibilidad sin causar impactos o daños en otras esferas del sistema. Esto exige la implementación de **ciencia integrada**, un pensamiento sistémico e **instituciones inclusivas**.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Mindtech s.a.s., la Universidad del Valle, la Universidad de Córdoba, Polymeiker s.a.s., MT-Solsosting s.a.s., Instituto de Ciencia y Tecnología Analítica Golden-Hammer s.a.s. por los fondos suministrados en el marco del proyecto MT-012025 (C.I. 71408 Univalle) - Convenio MT-AFICAT-202501. Asimismo, agradecen al Departamento Nacional de Planeación de Colombia a través del Sistema General de Regalías por los recursos suministrados en el marco del proyecto BPIN 2020000100261.

### Referencias

Auge, M. P. (2006). *Agua subterránea deterioro de calidad y reserva*.  
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15908>

Bocanegra, E. (2021). Proyecto OIEA IWAVE en América Latina en apoyo del ODS 6. *Boletín Geológico y Minero*, 132 (1-2), 87-98. DOI: 10.21701/bolgeomin.132.1-2.009

Collazo Caraballo, M. P., & Montaña Xavier, J. (2012). *Manual de Agua Subterránea*. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP). [https://aquabook.agua.gob.ar/files/upload/contenidos/10\\_2/Manual-de-agua-subterranea-Uruguay.pdf](https://aquabook.agua.gob.ar/files/upload/contenidos/10_2/Manual-de-agua-subterranea-Uruguay.pdf)

Consejo de Estado de Colombia. (2011). *Regulación y Dominio privado de fuentes de agua*. Departamento de Justicia. <https://share.google/VHB7gx2jMb2bgeFwo>

Deluchi, M., Rojo, A., Laurencena, P., & Kruse, E. (2013). Importancia del monitoreo del agua subterránea en zonas urbanizadas. En *Agua subterránea, recurso estratégico* (Tomo II, pp. 192-197). VIII Congreso Argentino de Hidrogeología, La Plata, Argentina. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/103804>

Egbueri, J. C., Unigwe, C. O., Omeke, M. E., & Ayejoto, D. A. (2023). Urban groundwater quality assessment using pollution indicators and multivariate statistical tools: A case study in southeast Nigeria. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103(14), 3324-3350. DOI: 10.1080/03067319.2021.1907359

Eurostat. (s. f.). *Database*. Base de datos en línea de la Comisión Europea. Recuperado el 13 de abril de 2026, de <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). *AQUASTAT: FAO's global information system on water and agriculture*. Recuperado el 13 de abril de 2026, de <https://www.fao.org/aquastat/en/>

Hernández, A., Cabrera, E., & Gómez, M. (2012). Integración de las nuevas tecnologías en el manejo de las aguas subterráneas. *Obras y proyectos*, (12), 80–91. DOI: 10.4067/S0718-28132012000200007

Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua. (2025). Desarrollan una innovadora tecnología verde para el tratamiento de aguas subterráneas contaminadas. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*. <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/developan-una-innovadora-tecnologia-verde-para-el-tratamiento-de-aguas-subterraneas-contaminadas>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2013). *Aguas subterráneas en Colombia: una visión general*. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Aguas%20subterr%C3%A1neas>

Jankowski, J., & Jacobson, G. (1989). Hydrochemical evolution of regional groundwaters to playa brines in Central Australia. *Journal of Hydrology*, 108, 123–173.

Kumari, M., & Singh, J. (2016). Water conservation: Strategies and Solutions. *International Journal of Advanced Research and Review (IJARR)*, 1(4), 75–79. <https://ijarr.org/index.php/ijarr/article/view/228>

Lapworth, D. J., Baran, N., Stuart, M. E., & Ward, R. S. (2012). Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. *Environmental Pollution*, 163, 287–303. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.12.034

Lawrence, A., Morris, B., & Foster, S. (1998). *Las aguas subterráneas en el desarrollo urbano: Evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias*. Banco Mundial. <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/517341468739571280>

- Lillibridge, S. R. (2000). Manejo de los aspectos de salud ambiental en los desastres: agua, excretas humanas y albergues. En: E. K. Noji (Ed.), *Impacto de los desastres en la salud pública* (pp. 65–78). Organización Panamericana de la salud.
- Londoño G., A. C., & Chica, A. (1997). Régimen de infiltración y comportamiento de suelos en tiempos de encharcamiento y posteriores al fenómeno lluvia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (12), 64–83. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7990199>
- Margat, J., & Van der Gun, J. (2013). *Groundwater around the World: A Geographic Synopsis* (1st ed.). CRC Press. DOI: 10.1201/b13977
- Mays, L. W. (2013). Groundwater resources sustainability: Past, present, and future. *Water Resources Management*, 27, 4409–4424. DOI: 10.1007/s11269-013-0436-7
- Ministerio de la Protección Social, & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Resolución 2115 de 2007: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*. <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>
- Naciones Unidas. (2022). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022: Aguas subterráneas, Hacer visible el recurso invisible*. UNESCO, París. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382894>
- Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial: Por un plan de rescate para las personas y el planeta*. DOI: 10.18356/9789210024938
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *Cartilla técnica: Aguas subterráneas - Acuíferos* (1.ª ed.). Sociedad Geográfica de Lima. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/06/Cartilla-t%C3%A9cnica-aguas-subterr%C3%A1neas-acu%C3%ADferos.pdf>

- Pacheco Ávila, J., Cabrera Sansores, A., & Pérez-Ceballos, R. (2004). Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. *Ingeniería*, 8(2), 165-179
- Presidencia de la República de Colombia. (2007). *Decreto 1575 de 2007: Por el cual se establece el Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano*. Gestor Normativo – Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>
- Reilly, T. E., Dennehy, K. F., Alley, W. M., & Cunningham, W. L. (2008). *Groundwater availability in the United States*. U.S. Geological Survey Circular 1323, 70 p. <http://pubs.usgs.gov/circ/1323/>
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236–247. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08
- Rivera Bravo, D. (2015). Diagnóstico jurídico de las aguas subterráneas. *Ius et Praxis*, 21(2), 225-266. DOI: 10.4067/S0718-00122015000200007
- Sahuquillo, A., Custodio, E., & Llamas, M. R. (2008). *La gestión de las aguas subterráneas*. Fundación Nueva Cultura del Agua
- Sahuquillo Herráiz, A. (2009). La importancia de las aguas subterráneas. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Física y Naturales*, 103(1), 97–114. <https://rac.es/ficheros/doc/00923.pdf>
- Silva Arroyave, S. M., & Correa Restrepo, F. J. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23), 13–34. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-63462009000100002&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-63462009000100002&lng=en&tlng=es)

- Smith, M., Cross, K., Paden, M., & Lavan, P. (Eds.). **(2016)**. *Acuíferos: Gestión sostenible de las aguas subterráneas*. UICN ORMACC. San José, Costa Rica. DOI: 10.2305/IUCN.CH.2016.WANI.8.es
- Tóth, J. **(2000)**. Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. *Boletín Geológico y Minero*, 111(4), 9–26. [https://web.igme.es/Boletin/2000/111\\_4/BGM\\_111-4\\_Art-1.pdf](https://web.igme.es/Boletin/2000/111_4/BGM_111-4_Art-1.pdf)
- UN-Water. **(2015)**. *Un Objetivo Global para el Agua Post-2015: Síntesis de las Principales Conclusiones y Recomendaciones de ONU - Agua*. 46 p. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam\\_files/un-objetivo-global-para-el-agua-post-2015.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/un-objetivo-global-para-el-agua-post-2015.pdf)
- UN-Water. **(s. f.)**. *Water scarcity. Decenio Internacional para la acción el agua, fuente de vida 2005-2015*. <https://www.unwater.org/water-facts/water-scarcity>
- Wester, P., & Hoogesteger-van Dijk, J. **(2011)**. Uso intensivo y despojo del agua subterránea: Hacia una conceptualización de los conflictos y la concentración del acceso al agua subterránea. En R. A. Boelens, L. Cremers, & M. Z. Zwarteveen (Eds.), *Justicia Hídrica: acumulación, conflicto y acción social* (pp. 111–133). Instituto de Estudios Peruanos (IEP) & Fondo Editorial PUCP.
- Xu, Q., Qiang, Z., Chen, Q., Liu, K., & Cao, N. **(2018)**. A superposed model for the pipe failure assessment of water distribution networks and uncertainty analysis: A case study. *Water Resources Management*, 32, 1713–1723. DOI: 10.1007/s11269-017-1899-8

## Capítulo 2

# Las aguas subterráneas en Colombia: Caribe y el departamento de Córdoba

Enadis Gaviria-Contreras, Emiro J. Medellín-Fernández,  
R. Tatiana Ortega-Muñoz, Rafael A. Bolaño Vásquez,  
Andrea C. Palencia-Bolaños

---

### Resumen

El presente capítulo analiza el estado actual de las aguas subterráneas en Colombia, con énfasis en la región Caribe y el departamento de Córdoba, a partir de una revisión documental sustentada en fuentes oficiales, técnicas y académicas. El estudio parte del reconocimiento de los acuíferos como una reserva estratégica para la seguridad hídrica, debido a su papel en el abastecimiento de agua para consumo humano, la producción agropecuaria, el mantenimiento de ecosistemas asociados y la adaptación frente a la variabilidad climática y al cambio climático. En el contexto colombiano, se destaca que, aunque la gestión del agua ha estado históricamente orientada hacia las fuentes superficiales, el recurso subterráneo representa un componente fundamental de la oferta hídrica nacional, cuyo conocimiento, monitoreo, aprovechamiento y control aún presentan brechas significativas.

A lo largo del capítulo se examinan la distribución de las aguas subterráneas, sus usos sectoriales y la demanda hídrica, diferenciando conceptualmente entre disponibilidad, captación y extracción efectiva. Se muestra que el Caribe colombiano alberga un mosaico de sistemas acuíferos costeros, aluviales e insulares, con comportamientos hidrogeológicos contrastados y sometidos a presiones asociadas a la salinización, la contaminación, la urbanización, la expansión agropecuaria y la

limitada protección de las zonas de recarga. En el caso del departamento de Córdoba, se evidencia la relevancia de las aguas subterráneas para el abastecimiento doméstico y rural, así como para actividades agropecuarias e industriales, especialmente en los valles del Sinú y del San Jorge, donde predominan las captaciones mediante pozos, aljibes y manantiales.

El capítulo también aborda las principales problemáticas y riesgos específicos que afectan el recurso, entre ellos la vulnerabilidad de los acuíferos someros a la contaminación por nitratos, fosfatos, sales, plaguicidas, vertimientos domésticos y actividades productivas, así como la presión sobre sistemas regionales estratégicos como el acuífero de Morroa. Finalmente, se revisa el marco regulatorio colombiano aplicable a las aguas subterráneas, su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en especial el ODS 6, y el papel de las tecnologías y prácticas de gestión sostenible, tales como el monitoreo hidrogeológico, la protección de zonas de recarga, la trazabilidad de concesiones y la gestión territorial del recurso. En conjunto, se concluye que el aprovechamiento sostenible de las aguas subterráneas en Colombia y, particularmente, en Córdoba, depende de la articulación entre conocimiento técnico, regulación efectiva, control institucional y capacidades locales de gestión.

**Palabras claves:** Aguas subterráneas, acuíferos, seguridad hídrica, región Caribe, demanda hídrica, contaminación, gestión sostenible, marco regulatorio, ODS 6.

Citar como: Gaviria-Contreras, E.; Medellín-Fernández, E.J.; Ortega-Muñoz, R.T.; Bolaño Vásquez, R.A.; Palencia-Bolaños, A.C. Las aguas subterráneas en Colombia: Caribe y el departamento de Córdoba. En: García-Quintero, A.; Palencia, M.; Combatt, E.M.; Valle-Zapata, H.A. (Eds). MT Pallantia-Publisher, Cali – Colombia, 2026, 54-108. DOI: 10.34294/b.006.c2.2026.05

## **2.1. Introducción: Panorama de las aguas subterráneas en Colombia, el Caribe y Córdoba**

El presente capítulo se refiere al estado actual de las aguas subterráneas en Colombia, la región Caribe y el departamento de Córdoba, y tiene como propósito ofrecer una visión integrada que articule el contexto físico, los usos, las problemáticas y los desafíos del recurso. A nivel mundial, las aguas subterráneas representan uno de los pilares silenciosos de la seguridad hídrica, al desempeñar un rol esencial para el abastecimiento de agua potable, la producción agroalimentaria, la sostenibilidad de los ecosistemas y la resiliencia frente a la variabilidad y el cambio climático. Aunque rara vez son

visibles los acuíferos concentran la mayor parte del agua dulce líquida disponible y actúan como reserva estratégica frente a sequías prolongadas y eventos extremos.

En este contexto, Colombia no es la excepción, si bien la gestión del agua ha estado históricamente centrada en fuentes superficiales, los acuíferos constituyen un capital hídrico de enorme relevancia, en especial en regiones de alta variabilidad climática y limitada infraestructura hidráulica, como el Caribe colombiano y, en particular, el departamento de Córdoba. El informe mundial del agua de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022 subraya que la sostenibilidad del recurso depende de conocer dónde se localizan los acuíferos, cómo se recargan y bajo qué presiones operan, de manera que las decisiones de gestión y arreglos de gobernanza se fundamenten en evidencia robusta y verificable ([United Nations, 2022](#); [Koncagül & Tran, 2022](#); [Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales \[IDEAM\], 2023a](#)). Este capítulo parte del consenso de que la contribución sostenida del recurso a la seguridad hídrica y alimentaria exige visibilizarlo con información, instrumentos y capacidades de gestión. Se pretende visibilizar el papel de los acuíferos en territorios donde el agua subterránea es un soporte fundamental para el abastecimiento humano, la producción agropecuaria y el mantenimiento de ecosistemas asociados, pero donde la información y la gestión siguen siendo fragmentarias.

Con el ánimo de dar a conocer el estado actual de las aguas subterráneas en Colombia, el Caribe y Córdoba, como también de identificar tanto las oportunidades como los riesgos asociados a su uso, se desarrolla una revisión bibliográfica y documental de carácter descriptivo-analítico que integra documentos de política y planificación, estudios técnicos e hidrogeológicos y reportes regionales de entidades gubernamentales y corporaciones autónomas

regionales. La articulación con la Agenda 2030, a través del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) 3918, refuerza la pertinencia de esta revisión al destacar que el acceso a métodos seguros de abastecimiento de agua potable contribuye directamente al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 y genera co-beneficios en salud, producción sostenible y adaptación al cambio climático. Su contribución al logro de los ODS (especialmente el ODS 6) es decisiva, pero la naturaleza oculta del recurso implica riesgos de sobreexplotación y degradación química cuando la extracción supera la recarga o fallan los sistemas de gobernanza y monitoreo (Cárdenas, 2022; Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES], 2018).

En el contexto nacional, el Estudio Nacional del Agua (ENA) 2022 actualiza el panorama y subraya dos mensajes complementarios: i) el potencial de las aguas subterráneas para ampliar la oferta, diversificar fuentes y robustecer la adaptación climática; y ii) los vacíos de conocimiento y uso efectivo, especialmente fuera de áreas urbanas mayores. El ENA 2022 documenta avances en inventarios, conceptualización de sistemas y líneas de monitoreo, pero también que el aprovechamiento del recurso sigue siendo incipiente en gran parte del territorio por desconocimiento hidrogeológico y limitaciones de información operativa. Desde la política pública, el Ministerio de Ambiente ha enfatizado que, pese a que una fracción muy amplia del territorio podría beneficiarse del uso de aguas subterráneas, el conocimiento detallado de los sistemas aún es parcial, lo cual limita decisiones sobre concesiones, protección de zonas de recarga y control de calidad. Estos hallazgos justifican la necesidad de cerrar brechas de información y fortalecer redes de observación y control de calidad, el seguimiento y la articulación interinstitucional, especialmente en territorios por fuera de grandes centros urbanos (IDEAM, 2023a;

Koncagül & Tran, 2022; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2023).

En la región Caribe, el ENA 2022 identifica sistemas acuíferos con dinámicas estrechamente ligadas a llanuras costeras, deltas, ciénagas y abanicos aluviales, donde la interfaz agua subterránea-agua superficial y las condiciones de salinidad constituyen determinantes de la calidad y del rendimiento sostenible. La planificación sectorial, en especial para agua potable y agricultura de riego, debe considerar la conectividad hidrológica y los gradientes costeros para prevenir deterioros químicos y físicos de los acuíferos, además de integrar monitoreos piezométricos y químico-isotópicos orientados a gestión adaptativa. La lectura regional servirá para ubicar a Córdoba dentro de un mosaico hidrogeológico más amplio, identificando riesgos y oportunidades de gestión que dependen tanto de la recarga efectiva como de los usos del suelo y la presión antrópica (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2023b).

En el departamento de Córdoba, los sistemas hidrogeológicos se articulan con las cuentas de los ríos Sinú y San Jorge, donde las llanuras aluviales, terrazas y depósitos recientes facilitan el almacenamiento y la circulación subterránea, con intercambios relevantes con humedales y corrientes superficiales. Diagnósticos regionales recientes reportan que presiones antrópicas asociadas a expansión agropecuaria, actividades mineras en el Alto San Jorge y crecimiento urbano, exige fortalecer el control de captaciones subterráneas, el seguimiento de niveles y la vigilancia de calidad para evitar descensos piezométricos, salinización o movilización de contaminantes (metales) en zonas vulnerables. Estas evidencias sustentan un enfoque de gestión acotado al territorio, con metas e instrumentos verificables. Asimismo, la consolidación de redes de observación y criterios técnicos para concesiones que consideren la recarga efectiva

y la conectividad con ecosistemas de regulación son unas de las recomendaciones que se dan para el monitoreo hidrogeológico de la región (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA], 2020; Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA], 2021; Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA], 2023). En este marco, el país ha venido consolidando lineamientos y programas para el monitoreo del recurso hídrico, orientados a fortalecer la generación de información y conocimiento, la articulación nacional y regional del seguimiento, y la integración progresiva de datos para la gestión del agua, además de su utilidad para escalar redes e interoperabilidad de datos en regiones como el Caribe y departamentos como Córdoba (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [MADS & IDEAM], 2024).

En Córdoba, las aguas subterráneas tienen relevancia para el abastecimiento hídrico, especialmente en áreas rurales donde la disponibilidad o las condiciones de acceso al agua superficial resultan limitadas o de difícil acceso. En este contexto, un sistema acuífero relevante y de gran interés es el Acuífero Aluvial del Sinú, que constituye una referencia importante para el análisis del recurso subterráneo en el departamento, no solo por su papel como fuente de agua, sino porque concentra buena parte de las decisiones técnicas relacionadas con seguridad hídrica, uso productivo y protección del recurso. Estudios oficiales advierten que el agua contenida en este acuífero no es apta para consumo humano directo sin tratamiento previo de potabilización, lo que indica que su uso para abastecimiento no puede basarse únicamente en la posibilidad física del recurso, sino que debe estar condicionado a procesos de tratamiento y control que respondan al cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos exigidos por la normatividad sanitaria. En consecuencia, su caracterización hidrogeológica debe servir como

base para orientar acciones de monitoreo, protección de zonas de recarga y evaluación técnica del uso del agua subterránea dentro de un enfoque de gestión territorial (ANLA, 2020; IDEAM, 2023b).

Es importante aclarar que el análisis se centra en el ámbito nacional (Colombia), con un énfasis particular en la región Caribe y dentro de ella, en el departamento de Córdoba, sin pretender abarcar todo el espectro de acuíferos del país. Básicamente, se trata de una revisión documental basada en fuentes oficiales y académicas disponibles, de modo que el lector pueda situarse rápidamente en el alcance, propósito y método de trabajo.

## **2.2. Distribución, usos sectoriales y demanda hídrica**

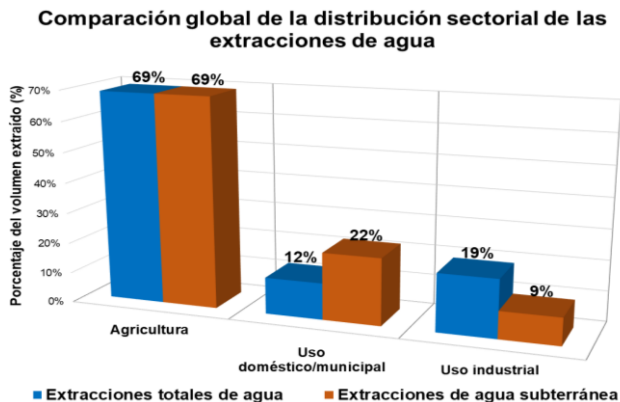
### **2.2.1. Contexto Colombia**

Para analizar el papel de las aguas subterráneas en Colombia conviene diferenciar tres nociones que no son equivalentes: disponibilidad, captación y uso efectivo. La disponibilidad de agua subterránea se remite al volumen almacenado y a la aptitud del agua contenida en los acuíferos para el aprovechamiento; la captación se distingue como el punto o mecanismo mediante el cual esa agua se toma del subsuelo; y el uso o extracción efectiva alude al volumen realmente retirado y destinado a diferentes sectores. En las comparaciones internacionales, esta distinción suele articularse con la metodología de la FAO-AQUASTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations-AQUASTAT), que organiza las estadísticas de extracción por grandes sectores de uso como el agrícola (incluyendo riego, pecuario y acuicultura), municipal (que incorpora el uso doméstico) y el industrial; mientras que en Colombia la planeación institucional se apoya en la categoría de “demanda hídrica multisectorial”, complementada con análisis específicos para agua subterránea en el

Estudio Nacional del Agua y sus anexos técnicos. Esta precisión conceptual resulta necesaria porque evita comparar, como si respondieran a una misma lógica de análisis, los inventarios hidrogeológicos, las concesiones administrativas y los volúmenes efectivamente aprovechados, que obedecen a escalas, finalidades y métodos distintos, y cuya diferenciación es clave para orientar decisiones sobre asignación, seguimiento y protección del recurso subterráneo (FAO, s. f.; IDEAM, 2023a).

Se estima que, a nivel mundial los acuíferos concentran aproximadamente el 99 % del agua dulce líquida disponible en el planeta, por lo que constituyen una reserva estratégica para el abastecimiento humano, la producción agroalimentaria y la adaptación frente a la variabilidad climática. Sin embargo, para interpretar correctamente su papel en el uso global del agua es necesario distinguir entre extracciones totales de agua y las extracciones de agua subterránea, ya que ambas categorías no corresponden al mismo universo estadístico. De acuerdo con la metodología FAO-AQUASTAT, cuando se consideran conjuntamente las fuentes superficiales y subterráneas, la distribución sectorial global de las extracciones se aproxima a 69 % para uso en actividades agrícolas, 12 % para consumo humano directo/municipal y 19 % para procesos industriales, con variaciones significativas entre regiones y países dependiendo de la infraestructura, las políticas públicas y la disponibilidad de fuentes superficiales. En cambio, cuando el análisis se restringe exclusivamente al agua subterránea, el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022 indica una composición distinta, en la que alrededor de 69 % de las extracciones de agua subterránea se destinan a la agricultura, 22 % a uso doméstico y 9 % a usos industriales (ver **Figura 2.1.**). En conjunto, estos datos evidencian la importancia del agua subterránea para la seguridad alimentaria y el abastecimiento humano,

especialmente en regiones áridas y semiáridas donde las fuentes superficiales son escasas, estacionales o altamente vulnerables a la sequía (United Nations, 2022; FAO, s. f.).



**Figura 2.1.** Comparación global de la distribución sectorial de las extracciones de agua. Fuente: elaboración propia con base en el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos 2022 y AQUASTAT – Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura (United Nations, 2022; FAO, s. f.).

Aunque la mayoría de los sistemas de abastecimiento tradicionales en Colombia se han construido sobre fuentes superficiales, las aguas subterráneas han cobrado mayor importancia porque funcionan tanto como fuente principal en territorios con oferta superficial limitada, como estrategia de respaldo para actividades productivas. Esta importancia responde a la necesidad de contar con reservas de origen subterráneo que amortigüen la variabilidad climática y sostengan la seguridad hídrica local. El país ha avanzado en caracterizar redes regionales de monitoreo de aguas subterráneas, 2.273 puntos reportados por corporaciones autónomas regionales como la

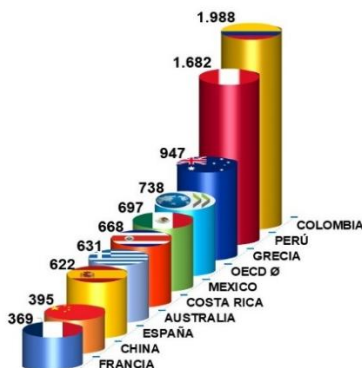
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - Corpourabá, entre otras (33 corporaciones autónomas regionales y 10 corporaciones de desarrollo sostenible en total), sin embargo, aún persisten vacíos debido a que en buena parte del territorio el monitoreo, la preparación técnico-académica son insuficientes o hay inexistencia de datos, al igual que existen niveles de conocimientos bajos (MADS, 2023; IDEAM, 2023a; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2020).

Desde el *Mapa Hidrogeológico de Colombia* (1986) y el *Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia* (2004) y el *Mapa de zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia* (2004), los inventarios nacionales sugerían que una fracción muy amplia del territorio, del orden de tres cuartas partes, presenta condiciones favorables de almacenamiento subterráneo. Sin embargo, el conocimiento no ha sido homogéneo; en el proceso de formulación de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) se evidenció que, para ese momento, 27 de 32 departamentos contaban con información parcial y que subsistían vacíos hidrogeológicos en varios departamentos, lo que condicionaba la planeación y los análisis de disponibilidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2014b; Cárdenas, 2022).

Diversas bases de datos internacionales coinciden en que Sudamérica concentra una fracción muy significativa de los recursos hídricos renovables del planeta y que países como Brasil, Colombia y Perú figuran entre los primeros lugares en disponibilidad de agua dulce per cápita. No obstante, la forma en que se mide el uso del recurso varía según la fuente. De acuerdo con una explotación reciente del indicador

de la OCDE “Freshwater abstractions, m<sup>3</sup> per cápita”, difundida por Statista para 2017-2021, Colombia aparece con extracciones anuales cercanas a 1.988 m<sup>3</sup> por persona, seguida del Perú (1.622 m<sup>3</sup>/hab año) (Figura 2.2.), y por encima del promedio de los países de la OCDE (aproximadamente 738 m<sup>3</sup>/hab año). Estas cifras se expresan en metros cúbicos por habitante y año e incorporan el agua retirada para abastecimiento público, riego, procesos industriales, refrigeración de centrales térmicas y aguas de minas y drenaje, excluyendo los volúmenes que pasan por las turbinas hidroeléctricas sin retirarse del curso. En contraste, las series de ONU-Agua y Banco Mundial, construidas sobre AQUASTAT de FAO y reportes oficiales, estiman para Colombia extracciones totales de alrededor de 250-300 m<sup>3</sup>/persona año a comienzos de la década de 2000, lo que subraya la existencia de diferencias metodológicas importantes entre inventarios y la necesidad de explicar en qué fuente y qué definición de “uso” o “extracción de agua se está utilizando (Grupo Banco Mundial, 2015; Statista, 2024).

Extracción anual de agua per cápita en países seleccionados  
(en m<sup>3</sup>/persona·año)



**Figura 2.2.** Extracción anual de agua per cápita en países seleccionados (m<sup>3</sup>/persona·año). Fuente: elaboración propia con base en Statista (2024).

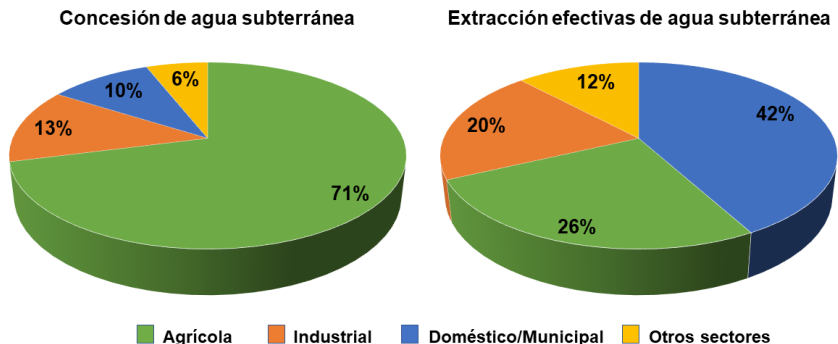
En Colombia, la demanda hídrica se distribuye de forma marcadamente desigual entre grandes áreas hidrográficas, concentrándose espacialmente en el sistema Magdalena - Cauca, seguido del Caribe. De acuerdo con el IDEAM, como marco espacial del uso total (superficial + subterránea), el área hidrográfica Magdalena – Cauca concentra aproximadamente 67% del uso del agua del país, mientras que el Caribe participa con 16,2 %, y el restante se reparte entre Amazonia, Pacífico y Orinoco (1, 4 y 12%, respectivamente); este patrón refleja tanto la concentración demográfica y productividad, como la infraestructura asociada y la vocación agroindustrial de los valles interandinos. Esta distribución condiciona la planificación del recurso, pues presiona simultáneamente las fuentes superficiales y, localmente incentiva las captaciones subterráneas donde la oferta superficial es estacional o insuficiente ([Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible \[MADS\], 2014a](#); [IDEAM, 2023a](#)).

Si bien, el 78% del territorio podría aprovechar las aguas subterráneas, sólo se conoce aproximadamente el 15% de los sistemas acuíferos, lo que dificulta su incorporación en la planificación del agua y en estrategias de seguridad hídrica urbana y rural. Conocimientos hidrogeológicos significativos como inventarios de puntos de extracción (67 acuíferos y 16 provincias hidrogeológicas), cartografía, aptitud, redes de monitoreo, el uso principal que se le da al agua subterránea y estudios de detalle, subraya esta necesidad para cerrar brechas de información y fortalecer protocolos para decisiones de asignación y protección a escala de acuífero. En dichas redes se controlan niveles piezométricos y parámetros de calidad (físicoquímicos, microbiológicos e hidro-geoquímicos). Esto implica que, si bien hay una base para seguimiento, la densidad espacial y la cobertura institucional todavía limitan diagnósticos finos y prospectiva operativa a escala nacional ([MADS, 2023](#); [IDEAM, 2023a](#);

## **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2023c).**

En términos sectoriales, los reportes institucionales en Colombia confirman que la agricultura continúa siendo el principal usuario de agua, seguida por la hidroenergía y, en menor medida, el pecuario; esta jerarquía sintetiza la estructura productiva y la preeminencia de riego y embalses en el país. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, aclara que, de los 33.000 millones de metros cúbicos de agua que se consumen anualmente en Colombia, cerca de 15.000 millones se destinan al sector agrícola, lo que equivale a alrededor del 43% de la demanda nacional de agua (superficial + subterránea), seguida del 23% para hidroenergía y 8 % para el sector pecuario, con variaciones metodológicas conocidas entre versiones del estudio y subregistros sectoriales específicos, lo cual debe tenerse en cuenta al hacer análisis comparativos (IDEAM, 2023a; MADS, 2023).

El uso específico del agua subterránea en Colombia se describe con dos vistas complementarias: i) las concesiones de agua subterránea, las cuales, según el International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC), se distribuyen aproximadamente en 71% para el sector agrícola, 13% sector industrial, 10 % doméstico y otros sectores el 6% (piscicultura, recreación, otros sectores); y ii) las extracciones/retiradas efectivas, el cual estima la retirada real de agua subterránea por sector, cuya proporciones de uso pasan a 42% doméstico, 20% industrial, el sector agrícola 26 %, otros sectores 12% (**Figura 2.3.**). Esta diferenciación es esperable, debido a que las concesiones son un marco jurídico-administrativo, mientras que las extracciones dependen de operación, auto captación, medición y cobertura temporal-espacial del dato (International Groundwater Resources Assessment Centre [IGRAC], s. f.).



**Figura 2.3.** Comparativo por sector: concesiones vs extracciones de agua subterránea en Colombia. Fuente: Elaboración propia, Información tomada de IGRAC (s. f.), con base en ENA/SIRH.

### 2.2.2. Región Caribe

La Región Caribe colombiana concentra un mosaico de sistemas acuíferos con comportamientos hidrogeológicos contrastados, desde valles aluviales interiores (valles del Sinú-San Jorge, y del Cesar) hasta planicies costeras y litorales con descargas al mar (Atlántico, Bolívar, Magdalena), que cumplen funciones de abastecimiento urbano-rural, soporte agropecuario y amortiguación estacional cuando la oferta superficial es limitada. El panorama para el Área Hidrográfica Caribe, han sido sintetizados en el Estudio Nacional del Agua (ENA) 2022, con fichas de sistemas acuíferos, provincias hidrogeológicas, aptitud y calidad, útiles para diferenciar dónde la extracción subterránea puede ser principal (p.ej., acuíferos aluviales y costeros) o complementaria (apoyo en estiaje). Esta base técnica incorpora indicios de presión y vulnerabilidad (contaminación local, salinización, sobreexplotación puntual), por lo que es el marco de referencia nacional para planear el uso subterráneo en la región. Estos rasgos condicionan la disponibilidad y la calidad, exigiendo enfoques de manejo que integren

la relación subterránea-superficial, especialmente en deltas, ciénagas y llanuras costeras (IDEAM, 2023a; IDEAM, 2023b). Se ha identificado un fenómeno creciente de presión sobre acuíferos, resultado de la expansión de la frontera agrícola, la instalación de desarrollos urbanos y turísticos, y la reducción de recarga natural debido a la deforestación y al sellamiento del suelo (Marrugo-Negrete et al., 2024).

En el Caribe Colombiano, la distribución de las aguas subterráneas se relaciona con unidades hidrogeológicas desarrolladas sobre llanuras aluviales, depósitos cuaternarios, terrazas, formaciones sedimentarias y franjas costeras con distinto grado de conexión con las aguas superficiales y, en los sectores litorales, con la dinámica marina. En este marco, la región comprende sistemas vinculados, entre otras, a las provincias hidrogeológicas Sinú-San Jacinto, Cesar-Ranchería y La Guajira, en las cuales se presentan diferencias importantes en extensión, aptitud, calidad y presión de uso. Esta configuración espacial explica que la disponibilidad y el aprovechamiento del recurso subterráneo no sean homogéneos dentro de la región Caribe, sino que dependan de factores como la litología, la recarga, la relación con los ríos, ciénagas y humedales, la cercanía al litoral y la intensidad de las captaciones. Por ello, los análisis recientes recomiendan interpretar la región a partir de sistemas hidrogeológicos específicos y no solo mediante inventarios antiguos de acuíferos por departamentos, ya que este enfoque permite una lectura más precisa para fines de protección, monitoreo y gestión del recurso. En esta línea, la autoridad ambiental del Atlántico reconoce 4 sistemas acuíferos primarios (río Magdalena, Barranquilla–Puerto Colombia, Sabanalarga y Tubará) y 3 sistemas acuíferos secundarios (Juan de Acosta, Piojó y Luruaco), ejemplo que confirma la necesidad de abordar el análisis regional desde unidades concretas de funcionamiento y manejo (IDEAM, 2023a; IDEAM, 2023b; Corporación Autónoma Regional del Atlántico [CRA], 2024).

En términos de distribución espacial, el Caribe colombiano alberga importantes acuíferos, en los que se destacan desarrollos y usos de agua subterránea en el golfo de Urabá, golfo de Morrosquillo y zonas aledañas de Bolívar, Cesar, Magdalena y la Guajira, a igual, en el archipiélago de San Andrés, en donde la dependencia del recurso subterráneo es estructural para el abastecimiento y sostenibilidad insular (MADS, 2014a). Uno de los sistemas del Caribe es el Acuífero Morroa (Sucre-Bolívar), fuente histórica de abastecimiento de sistemas de acueductos regionales y municipales en el departamento de Sucre (Sincelejo y municipios adyacentes) y complementan la oferta superficial en épocas secas; los estudios académicos y técnicos lo describen como acuífero multicapa (areniscas y conglomerados con intercalaciones finas) con recarga limitada y sensibilidad a descensos piezométricos cuando aumenta la explotación. Este recurso se emplea tanto para consumo humano como para usos domésticos y agrícolas de pequeña escala (Pacheco-Ruiz & Villegas Yépez, 2003; López Ramírez, 2015; IDEAM, 2023b; Argumedo Vivas & Rodelo Bejarano, 2002).

Hacia el litoral del Atlántico, la autoridad ambiental CRA reconoce sistemas acuíferos primarios (río Magdalena; Barranquilla-Puerto Colombia; Sabanalarga; acuífero Tubará) y secundarios (Juan de Acosta; Piojó; Luruaco); el conjunto presenta vulnerabilidad a intrusión salina bajo escenarios combinados de sobreexplotación y ascenso del nivel del mar, lo que justifica zonas de restricción y vigilancia piezométrica-salinidad (CRA, 2024).

### **2.2.3. Córdoba**

En Colombia, el análisis de la demanda hídrica subterránea por sectores económicos se enfrenta a una doble tensión: por un lado, el país dispone de una base conceptual y cartográfica sólida sobre sus

provincias hidrogeológicas; por otro, aún persiste un vacío importante en la cuantificación sistemática de los volúmenes extraídos por departamento y por uso específico. Estudios realizados por el IDEAM muestran que el aprovechamiento de los acuíferos sigue siendo mucho menor que el de las aguas superficiales, pero adquiere una importancia estratégica creciente en contextos de variabilidad climática, expansión de la frontera agropecuaria y dificultades de calidad en fuentes superficiales ([Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales \[IDEAM\], 2013a](#)). En estos estudios se indica que el país se organiza en varias provincias hidrogeológicas y que algunas de ellas concentran la mayor parte del uso de agua subterránea, con desagregación por sectores doméstico, agrícola, industrial, pecuario y de servicios, aunque dicha desagregación se ha construido a partir de información incompleta suministrada por las autoridades ambientales regionales ([IDEAM, 2013b](#)).

El departamento de Córdoba se ubica en una posición estratégica en la cuenca del Sinú-San Jorge, combinando una amplia red de aguas superficiales (ríos Sinú, San Jorge, Canalete, entre otros) con una base importante de aguas subterráneas que complementan el abastecimiento, especialmente en áreas rurales y en municipios con cobertura limitada de acueducto. Desde este esquema, la provincia hidrogeológica Sinú-San Jacinto, en la que se inserta el departamento junto con porciones de Sucre y Bolívar, aparece catalogada como una provincia intermedia; se estima un aprovechamiento del orden de 27 millones de m<sup>3</sup> anuales de agua subterránea, equivalente a aproximadamente 3 % del uso nacional de agua subterránea, frente a provincias como Cauca-Patía o Cordillera Oriental que superan los 400 y 260 millones de m<sup>3</sup>/año respectivamente. Esta cifra no puede atribuirse exclusivamente a Córdoba, pero sí permite ubicar al departamento dentro de un corredor hidrogeológico caribeño donde la presión de los acuíferos, aunque menor que en otras regiones del

país, es suficientemente significativa como para requerir instrumentos específicos de planificación y control del recurso (IDEAM, 2013b).

En el departamento de Córdoba, el aprovechamiento del agua subterránea se realiza principalmente mediante pozos, aljibes y manantiales, formas de captación que siguen teniendo un papel relevante en el abastecimiento local, sobre todo en áreas rurales y en municipios donde la oferta superficial resulta limitada o presenta restricciones de calidad. Sin embargo, para describir la situación actual del recurso resulta más apropiado acudir a los registros administrativos recientes consolidados por la CVS en el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), ya que permite analizar con mayor pertinencia la distribución de las captaciones, los caudales concesionados y los usos asociados al agua subterránea en el departamento.

De acuerdo con el corte de abril de 2025, en la jurisdicción de la CVS se registran 365 usos de agua, de los cuales 181 corresponden a captaciones en pozos y aljibes, equivalentes al 49,6% del total; no obstante, el caudal subterráneo concesionado representa una proporción comparativamente baja frente al volumen global autorizado, con aproximadamente 586 L/s, es decir, cerca del 3,9% del caudal consuntivo total (**Tabla 2.1.**). Territorialmente, estas captaciones se concentran en los valles del Sinú y del San Jorge, con presencia destacada en los municipios como Sahagún, Buenavista, Chinú, Montería, Ciénaga de Oro, Cereté, Planeta Rica, Montelíbano y Ayapel, lo que confirma que el uso del agua subterránea en Córdoba responde a una lógica de soporte territorial distribuido, más asociada a múltiples aprovechamientos locales que a grandes volúmenes individuales concesionados (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2025).

**Tabla 2.1.** Síntesis del aprovechamiento de aguas subterráneas en Córdoba (Jurisdicción CVS). Fuente: elaboración propia, con base en el análisis de información administrativa del SIRH reportada por autoridad ambiental, corte abril 2025 (IDEAM, 2025).

Indicador	Valor	Interpretación
Total de registros de uso de agua	365	Corresponde a la base administrativa total considerada para el análisis de concesiones y usos del recurso hídrico.
Registros asociados a captaciones en pozos y aljibes	181	Evidencian una alta dependencia de captaciones subterráneas de pequeña y mediana escala en el departamento.
Participación de pozos y aljibes sobre el total de registros	49,6 %	Cerca de la mitad de los registros de uso reportados en la jurisdicción corresponden a captaciones subterráneas.
Caudal subterráneo concesionado	586 L/s aprox.	Representa el volumen concesionado asociado a fuentes subterráneas.
Participación del caudal subterráneo sobre el total concesionado	3,9 % aprox.	Aunque existe un número importante de usuarios subterráneos, los volúmenes concesionados son relativamente bajos frente al total.

Desde una perspectiva sectorial, la información administrativa de la CVS integrada al SIRH permite interpretar no solo donde se localizan las captaciones subterráneas, sino también que tipo de usos concentran y que presiones diferenciales ejercen sobre las unidades hidrogeológicas del departamento. Aunque el número de pozos y aljibes vinculados es alto en términos relativos dentro de la base de usuarios, el volumen concesionado asociado a estas fuentes sigue siendo reducido frente al total, lo que revela una estructura de aprovechamiento caracterizada por numerosos usos de pequeña y mediana escala (uso doméstico y actividades agropecuarias), más que por extracciones subterráneas masivas y generalizadas (actividades

industriales). Esta configuración se observa con claridad en los valles del Sinú y San Jorge, donde municipios como Sahagún, Buenavista, Chinú, Ciénaga de Oro, Cereté y Planeta Rica (ver **Tabla 2.2.**) concentran captaciones destinadas principalmente al abastecimiento doméstico, al uso pecuario y a actividades agrícolas localizadas, incluidas fincas ganaderas, cultivos transitorios y sistemas de riego de escala limitada. En contraste, en el Alto San Jorge, la información de concesiones complementada con la clasificación de actividades económicas revela captaciones subterráneas destinadas a actividades industriales y mineras, entre ellas la extracción de ferróníquel, en municipios como Montelíbano y Ayapel, lo que introduce una presión cualitativamente distinta sobre unidades acuíferas como Betulia, debido a la concurrencia de demandas productivas, posibles conflictos por el uso del agua y riesgos acumulativos sobre la calidad del recurso (IDEAM, 2025).

**Tabla 2.2.** Distribución del caudal subterráneo concesionado en Córdoba – Jurisdicción CVS. Fuente: elaboración propia, análisis de SIRH por autoridad ambiental, corte abril 2025 de la Sabana de datos del RURH (IDEAM, 2025).

Municipio	Número de registros	Caudal (L/s)
Sahagún	29	118,1
Buenavista	7	107,5
Chinú	15	86,8
Montería	46	69,9
Ciénaga de Oro	14	62,3
Montelíbano	12	27,2
Cereté	10	23,5
Ayapel	3	22
Planeta Rica	13	21

Los diagnósticos regionales de ANLA y los actos de concesión de la CVS alimentan el entendimiento sectorial; se documentan usos domésticos

ligados a acueductos locales, usos agropecuarios en valles aluviales y captaciones industriales/mineras en subzonas del Alto San Jorge; la trazabilidad administrativa respalda la auditoría de caudales autorizados y la evaluación de compatibilidad con la aptitud indicada por el ENA (ANLA, 2020). La presión sobre los acuíferos se manifiesta en la sobreexplotación puntual de pozos en municipios como Montería, Lórica, Planeta Rica y Sahagún, donde la extracción para consumo humano y riego agrícola se ha incrementado sin que medie un control efectivo de caudales ni seguimiento de la caída del agua (Marrugo-Negrete et al., 2024).

Dentro de la base de información de la SIRH, los datos suministrados por las autoridades ambientales regionales, en específico la CVS, muestra un corredor de uso de agua subterránea en los valles del Sinú y San Jorge, cuya distribución del caudal concesionado de fuente subterránea por tipo de uso se destina a la parte doméstica (acueductos rurales, pequeños poblados) alrededor de 318,81 L/s, pecuario 36,09 L/s, agrícola 25 L/s, acuícola 7L/s, y otros que está asociada a actividades industriales/mineras, como la extracción de ferromanganeso, está en 198,88 L/s (Tabla 2.3.) (IDEAM, 2025).

**Tabla 2.3.** Caudal concesionado de aguas subterráneas por tipo de uso en la jurisdicción de la CVS. Fuente: elaboración propia análisis de SIRH por autoridad ambiental, corte abril 2025 de la Sabana de datos del RURH (IDEAM, 2025).

Tipo de uso	Caudal concesionado de fuente subterránea (L/s)	Participación sobre el caudal subterráneo total de CVS (%)
Doméstico	318,81	54,4
Otro	198,88	34,0
Pecuario	36,09	6,2
Agrícola	25	4,3
Acuícola	7	1,2

## 2.3. Problemáticas y riesgos específicos

El uso reciente de aguas subterráneas en el mundo se acompaña de un conjunto de riesgos que combinan procesos físicos, químicos, biológicos e institucionales. A escala mundial, los principales problemas identificados son la sobre extracción en acuíferos con recarga limitada, la contaminación difusa y puntual asociada a actividades agrícolas, urbanas e industriales, la intrusión salina en zonas costeras y la reducción de la recarga efectiva por cambio climático y transformación del uso del suelo ([United Nations, 2022](#)).

En las últimas décadas los riesgos de calidad se han intensificado, en particular por el aporte de nutrientes, sales y plaguicidas desde la agricultura intensiva, que en muchos países ha superado a la industria y a los centros urbanos como fuente dominante de contaminación del recurso hídrico. Estudios sobre calidad de aguas subterráneas reportan patrones recurrentes de elevadas concentraciones de nitratos en zonas agrícolas, la presencia de pesticidas y metabolitos en acuíferos someros, así como focos de arsénico, fluoruro y otros elementos de origen natural movilizados por cambios en el régimen redox o en el pH de los acuíferos. Estos procesos tienen efectos directos en la salud humana (por ejemplo, metahemoglobinemia infantil, riesgos carcinogénicos y enfermedades cardiovasculares) y en la productividad agrícola mediante la salinización de suelos irrigados con agua de mala calidad ([Lapworth et al., 2022](#)).

En Colombia, las problemáticas específicas del agua subterránea se estructuran alrededor de tres ejes: conocimiento incompleto, vulnerabilidad a la contaminación y riesgo de desabastecimiento. El informe del ENA 2022 identifica 835 municipios como susceptibles al desabastecimiento de agua, aun en periodos de lluvia, y resalta que los acuíferos deben considerarse un pilar para enfrentar eventos

climáticos extremos, siempre que su uso sea regulado y monitoreado de manera rigurosa (MADS, 2023). Igualmente, se han descrito un conjunto de riesgos recurrentes para los acuíferos colombianos como la explotación intensiva en sistemas con carga limitada, perforación de pozos sin estudios hidrogeológicos previos, contaminación difusa por fertilizantes y plaguicidas en zonas de agricultura mecanizada, infiltración de lixiviados de rellenos sanitarios, baterías de pozos cercanas a vertimientos de aguas residuales sin tratamiento y presión creciente sobre acuíferos costeros expuestos a intrusión marina. Casos como el acuífero de Morroa, localizado en el departamento de Sucre y con extensión hacia parte de Córdoba, ilustran este tipo de problemáticas, ya que los estudios de recarga y modelación han mostrado tasas de infiltración muy bajas, niveles piezométricos que han descendido varias decenas de metros en algunas zonas y evidencia de incrementos de salinidad, lo que obliga a considerar este sistema como un acuífero en condición de estrés hídrico y de calidad (IDEAM, 2023b; Pacheco-Ruiz & Villegas Yépez, 2003; Donado et al., 2002).

Desde la perspectiva de la calidad del agua para consumo humano, los informes nacionales de calidad del agua (INCA) elaborados por el Instituto Nacional de Salud (INS) y entidades sectoriales muestran que una fracción importante de municipios colombianos presenta niveles de riesgo medio, alto o inviable sanitariamente, según el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA). Aunque estos informes se refieren al agua distribuida por los prestadores del servicio, en muchos municipios pequeños y zonas rurales la fuente de esos sistemas son pozos profundos, aljibes o manantiales. Cuando se combinan captaciones subterráneas con coberturas bajas de alcantarillado, presencia de vertimientos sin tratamiento y ausencia de desinfección continua, el riesgo de contaminación microbiológica y química del agua subterránea se traduce en episodios recurrentes de IRCA no aceptable, con implicaciones para la salud pública y la

confianza de la población en los sistemas de acueducto ([Instituto Nacional de Salud \[INS\], 2023](#)).

En la Región Caribe colombiana, los riesgos asociados a las aguas subterráneas se amplifican por la convergencia de una marcada estacionalidad climática, procesos de deforestación en zonas de recarga, alta dependencia del recurso en áreas rurales y dinámicas de urbanización y turismo costero que avanzan con mayor rapidez que la infraestructura de saneamiento. En este contexto, el sistema acuífero Morroa se ha consolidado como un caso emblemático de presión sobre el recurso subterráneo, al constituir la principal fuente de abastecimiento para diversas cabeceras urbanas y centros poblados de Sucre, Bolívar y Córdoba. Estudios de hidrología isotópica y de modelación hidrogeológica sobre el acuífero de Morroa y otros sistemas costeros resaltan recargas anuales muy bajas, presencia de niveles de alta salinidad hacia el norte del sistema, vulnerabilidad a la intrusión marina y posibles aportes de lixiviados y aguas residuales en zonas de recarga sin protección ([International Atomic Energy Agency \[IAEA\], 2009](#); [IDEAM, 2014](#); [IDEAM, 2023b](#)).

Desde el punto de vista cuantitativo, el sistema acuífero Morroa presenta una superficie aflorante cercana a 645 km<sup>2</sup>, una recarga estimada entre 34 y 70 mm/año y reservas calculadas de agua subterránea del orden de 3.286 millones de m<sup>3</sup>, y reservas explotables aproximadas de 719 millones m<sup>3</sup>, con una demanda anual estimada de alrededor de 41 millones de m<sup>3</sup>/año, con un inventario de decenas de pozos profundos para abastecimiento urbano y rural. Aunque la extracción anual parezca baja en relación con la reserva explotable, la comparación relevante para la sostenibilidad no es con la reserva estática, sino con la recarga anual efectiva, que está en un rango de 21,9 a 45,1 millones de m<sup>3</sup>/año, según los valores de recarga reportados. En el extremo inferior de este rango, la demanda supera claramente la

recarga, y en el extremo superior se sitúa muy próxima a ella, dejando escaso margen para las funciones ambientales del acuífero y para la incertidumbre inherente a las estimaciones (IAEA, 2009; IDEAM, 2014; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015).

Diversos estudios técnicos hidrogeológicos y evaluaciones institucionales describen al acuífero como un sistema sometido a sobreexplotación y estrés hídrico severo, debido a la combinación de recarga natural muy baja y extracción concentrada continua para abastecimiento urbano y rural. Estas observaciones refuerzan la interpretación de que la sobreexplotación no se limita al descenso de niveles, sino que también incrementa la vulnerabilidad del acuífero frente a la intrusión salina y a la entrada de contaminantes difusos y puntuales. Estos hallazgos coinciden con las alertas de la guía metodológica del Ministerio de Ambiente para la formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos, que identifica para el Caribe problemas de sobre bombeo continuo en pozos de abastecimiento, expansión de actividades agropecuarias sin control sobre fertilización y plaguicidas, y proliferación de captaciones privadas no registradas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2014c; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015; IDEAM, 2023b).

En el departamento de Córdoba, estudios han sintetizado un escenario de alta vulnerabilidad y riesgo efectivo de contaminación. La evaluación de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos, basada en parámetros como la profundidad del nivel freático, la litología, la recarga y la pendiente del terreno, clasifica a las subregiones Alto Sinú, Sinú Medio y Costera con vulnerabilidad extrema, y a sabanas y san Jorge con vulnerabilidad alta; solo el Bajo Sinú carece de información suficiente para su clasificación. Esta configuración indica que la

mayoría de los acuíferos someros cordobeses son muy susceptibles a la infiltración de contaminantes desde la superficie, en un contexto donde la captación para consumo humano se realiza mayoritariamente mediante pozos y aljibes de escasa profundidad y sin obras sanitarias adecuadas. Muestreos realizados durante el levantamiento del Mapa Hidrogeológico de Córdoba registraron concentraciones de nitratos de hasta 225,9 mg/L en la subregión Alto Sinú, 300 mg/L en Sinú Medio y 370 mg/L en algunos aljibes de Sabanas y San Jorge, valores que superan entre 20 y casi 40 veces el límite de 10 mg/L establecido para agua potable en la normativa colombiana (Resolución 2115 de 2007). Para fosfatos, se reportan valores máximos en torno a 1,7 mg/L, frente a un valor máximo aceptable de 0,5 mg/L, para agua de consumo humano, también definido en la Resolución 2115 de 2007, junto con casos de salinidad elevada asociada a cloruros y sulfatos. Estas cifras apuntan a aportes combinados de fertilizantes, excretas de ganado y aguas residuales domésticas, y sitúan al recurso subterráneo en una condición de riesgo sanitario para las comunidades rurales que dependen de pozos y aljibes, así como para los ecosistemas asociados a manantiales y humedales (Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear [INGEOMINAS], 2003; Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [Superservicios], 2017).

## **2.4. Marco regulatorio para aguas subterráneas**

El régimen jurídico que orienta la gestión de las aguas subterráneas en Colombia se apoya en un andamiaje escalonado que va desde la Constitución hasta normas técnicas específicas para captación, calidad y planificación del recurso. La Constitución Política de 1991 reconoce el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano (art. 79) y ordena al Estado planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible (art. 80),

lo que incluye explícitamente el agua como bien público y esencial. Sobre esta base, la Ley 99 de 1993 organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), crea el entonces Ministerio del Medio Ambiente como autoridad rectora y le asigna la función de definir las políticas y regulaciones para la recuperación, protección y uso sostenible de los recursos naturales renovables entre ellos las aguas superficiales y subterráneas ([Justicia Colombia, s. f.](#); [Congreso de Colombia, 1993](#)).

El Decreto ley 2811 de 1974 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente) y su reglamentación mediante el Decreto 1541 de 1978 constituyen el núcleo del régimen de aguas no marítimas. El Código define el agua como recurso público, regula la destinación genérica de aguas superficiales y subterráneas, clasifica usos (entre ellos consumo humano, agrícola, pecuario e industrial) y establece el principio de concesión para su aprovechamiento. El Decreto 1541 desarrolla estos mandatos para las aguas no marítimas, incluyendo disposiciones específicas sobre permisos de prospección y exploración de aguas subterráneas, inscripción de perforadores y profesionales, concesión de uso y condiciones para obras de captación, hoy compiladas en el Decreto único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 1076 de 2015 ([Presidencia de la República de Colombia, 1974](#); [Presidencia de la República de Colombia, 1978](#); [Presidencia de la República de Colombia, 2015](#)).

La **Tabla 2.4.** resume los principales instrumentos de mayor relevancia para las aguas subterráneas y su gestión; no abarca toda la normatividad sectorial vigente, pero recoge el marco regulatorio aplicable en Colombia.

**Tabla 2.4.** Marco regulatorio e instrumentos clave para la gestión de aguas subterráneas en Colombia. Fuente: elaboración propia, información tomada de leyes, normas y decretos implementadas por el gobierno.

Nivel / Tipo	Norma / Instrumento	Descripción
Constitucional	Constitución Política de Colombia de 1991, arts. 79 y 80.	Reconoce el derecho a un ambiente sano y ordena al Estado planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.
Ley marco ambiental	Ley 99 de 1993 – Ley General Ambiental de Colombia.	Crea el Ministerio de Ambiente, organiza el SINA y define el ordenamiento ambiental del territorio.
Código de recursos	Decreto-ley 2811 de 1974 – Código Nacional de Recursos.	Establece el régimen general de los recursos naturales renovables, su dominio público, usos y protección.
Reglamento de aguas	Decreto 1541 de 1978 – Reglamenta aguas no marítimas.	Reglamenta el Libro II, Parte III del decreto 2811 sobre aguas no marítimas y parcialmente la Ley 23 de 1973.
Decreto único sectorial	Decreto 1076 de 2015 – Decreto Único Reglamento del sector Ambiente.	Compila y actualiza normas ambientales, incluyendo las relativas a aguas, aprovechamientos y autorizaciones.
Política pública hídrica	Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) – 2009.	Instrumento direccionador de la gestión integral del recurso hídrico (superficial, subterráneo y marino) en el país.
Planificación de acuíferos	Decreto 1640 de 2012 – Planificación, ordenación y manejo de cuencas y acuíferos ( <a href="#">Presidencia de Colombia, 2012</a> ).	Reglamenta los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos.
Programa específico	Programa Nacional de Aguas Subterráneas – PNASUB - 2014.	Instrumento de articulación para evaluar y gestionar el agua subterránea en el marco de PNGIRH.

Guía técnica de PMAA	Guía metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos – 2014.	Establece criterios técnicos, procedimientos y metodologías para formular e implementar PMAA.
Uso eficiente del agua	Ley 373 de 1997 – Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA).	Obliga a formular PUEAA para usuarios del recurso hídrico (acueductos, riego, hidroenergía, industria).
Calidad para consumo	Decreto 1575 de 2007 – Sistema de protección y control de la calidad del agua para consumo humano (Presidencia de Colombia, 2007).	Crea el sistema de protección y control de la calidad del agua para consumo humano, con enfoque de riesgo sanitario.
Calidad para consumo	Resolución 2115 de 2007 – Características y vigilancia de la calidad del agua para consumo.	Define características físicas, químicas y microbiológicas del agua potable y los instrumentos y frecuencias de control y vigilancia.
Reglamento técnico (RAS)	Resolución 0330 de 2017 – Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2017) (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).	Establece requisitos técnicos para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo.
Instrumentos de monitoreo	Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico - 2025.	Define lineamientos y ejes temáticos para el monitoreo de aguas superficiales y subterráneas.
Sistema de Información	Decreto 1323 de 2007 - Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) (MAVDT, 2007).	Sistema de integración y estandarización del acopio, registro, manejo y consulta de datos, bases de datos, estadísticas, modelos, información documental, etc.
Documento marco específico	Gestión de aguas subterráneas en la política hídrica nacional. Panorama institucional y marco legal – MADS.	Documento técnico que sintetiza el marco conceptual, institucional y legal para la gestión de aguas subterráneas en Colombia.

## **2.5. Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**

La relación entre el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6) – orientado a garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos – y el uso estratégico del agua subterránea en comunidades y asociaciones rurales, constituye un punto de apoyo fundamental para la sostenibilidad hídrica en territorios donde las limitaciones de infraestructura, inequidades históricas y variabilidad climática afectan profundamente el acceso al recurso, de modo que los acuíferos se convierten en la fuente principal o complementaria para el consumo humano, la reproducción de actividades productivas y el sostenimiento de ecosistemas locales ([United Nations-Water \[UN-Water\], 2018](#); [United Nations, s. f.](#); [United Nations, 2022](#); [IDEAM, 2023a](#)).

En este contexto, el agua subterránea representa una fuente relativamente estable frente a sequías, contaminación de aguas superficiales y oscilaciones estacionales de caudal, de tal manera que se convierte en un soporte directo para metas como el acceso universal al agua segura, la mejora de la calidad del recurso, el aumento de la eficiencia en su uso y la participación de las comunidades en la gobernanza del agua, tal como recogen los pilares del ODS 6 y sus metas 6.1, 6.3, 6.4, 6.5 y 6.b locales ([UN-Water, 2018](#); [United Nations, s. f.](#); [World Meteorological Organization \[WMO\], 2022](#)).

En territorios rurales, donde la conexión a redes de acueducto es parcial, intermitente o inexistente, las aguas subterráneas constituyen una base fundamental del abastecimiento doméstico, agrícola y de algunas actividades productivas. Esta dependencia aumenta la importancia estratégica de los acuíferos para la seguridad hídrica local y exige fortalecer su gestión, monitoreo y protección. En Colombia, además, la provisión rural del agua ha dependido ampliamente de

esquemas de gestión comunitaria, en los que organizaciones locales participan en la operación, el mantenimiento y la administración de los sistemas de abastecimiento, por lo que el análisis de la gobernanza del agua en estos territorios requiere considerar tanto la base hidrogeológica de recurso como las capacidades organizativas de las comunidades (United Nations, 2022; IDEAM, 2023a; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2014d; Llano-Arias, 2015; Domínguez Rivera et al., 2016).

La importancia del agua subterránea para el ODS 6 puede entenderse desde tres dimensiones: su rol ecológico, su valor socioeconómico y su potencial como catalizador de organizaciones comunitarias. Desde una perspectiva ecológica e hidrológica, el agua subterránea es una pieza central del sistema hídrico mundial, concentrando aproximadamente el 99 % del agua dulce líquida disponible en el planeta, lo que la convierte en el principal reservorio de agua relativamente protegida frente a la evaporación y a los pulsos extremos de caudal superficial (United Nations, 2022). Esta condición subraya su función como amortiguador natural ante la variabilidad climática y a los eventos extremos asociados a fenómenos como El Niño y La Niña, que alternan períodos de sequía intensa con episodios de lluvia excesiva en amplias zonas de América Latina y el Caribe. En muchas áreas rurales, cuando los caudales superficiales se vuelven irregulares o se deteriora su calidad, los pozos someros y profundos permiten sostener un suministro mínimo continuo, lo cual refuerza la conexión entre una gestión cuidadosa del agua subterránea, el cambio climático y el cumplimiento de las metas del ODS 6 vinculadas a resiliencia y protección de ecosistemas relacionados con el agua (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2015; High-Level Panel of Experts [HLPE], 2015; United Nations, 2022; WMO, 2022; IDEAM, 2023b).

En la dimensión socioeconómica, el agua subterránea sostiene una parte clave de las actividades que garantizan la seguridad alimentaria. La agricultura familiar, la ganadería a pequeña escala, la acuicultura comunitaria y los sistemas de producción agroecológica suelen operar con demandas de agua moderadas, pero requieren flujos relativamente constantes durante todo el año, condición que difícilmente se cumple cuando la oferta depende exclusivamente de corrientes superficiales sujetas a estiajes prolongados o crecientes súbitas (FAO, 2015; HLPE, 2015).

A escala mundial, se reconoce que el agua subterránea aporta una proporción relevante del agua utilizada en riego – aproximadamente una cuarta parte de los volúmenes destinados a la agricultura – y que su rol se expande en regiones donde el cambio climático intensifica la irregularidad de las lluvias. Diversos estudios en zonas rurales de Colombia muestran que los pozos comunitarios y artesanales se han consolidado como fuentes críticas para el abastecimiento de agua de consumo humano y para usos productivos de pequeña escala, aunque con frecuencia el recurso se consume sin tratamiento, lo que añade una dimensión de riesgo sanitario que el ODS 6 busca explícitamente reducir. Esta combinación de dependencia y vulnerabilidad revela que la seguridad alimentaria y el cumplimiento de las metas 6.1, 6.3 y 6.4 del ODS 6 (acceso al agua potable, mejora de la calidad del agua y eficiencia en el uso) dependen de estrategias que integren la protección de los acuíferos, la mejora de la calidad del agua subterránea y la promoción de tecnologías de uso eficiente, más que la simple expansión de redes convencionales de acueducto (Lora-Ariza et al., 2024; Ramos-Parra et al., 2025; Florez-García et al., 2025; IDEAM, 2023a; UN-Water, 2018; IDEAM, 2023c).

La relación entre aguas subterráneas y ODS 6 también se expresa en la dimensión de la gobernanza comunitaria. En numerosos territorios

rurales, donde el suministro depende de un pozo, manantial o un sistema de bombeo común, las comunidades rurales suelen organizarse en juntas de agua, comités de usuarios o asociaciones comunitarias encargadas de regular el acceso, resolver conflictos y gestionar inversiones menores en infraestructura básica, prácticas que han sido documentadas en diagnósticos de gestión local del agua y en políticas dirigidas a fortalecer la participación social. Este tipo de gobernanza local se conecta de manera directa con la meta 6.b, que resalta la importancia de la participación de las comunidades en la gestión del agua, y dialoga con lineamientos nacionales como el Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB), que propone fortalecer las capacidades locales de monitoreo, información y manejo de acuíferos en el marco de la Política Nacional para la Gestión Integral del recurso Hídrico ([MADS, 2014d](#); [IDEAM, 2023a](#)).

En muchos territorios rurales de Colombia, el agua subterránea se configura no sólo como un insumo físico, sino como un bien social que estructura proyectos colectivos. Durante las estaciones secas, la disponibilidad de un pozo comunitario ha permitido mantener o diversificar actividades productivas como acuicultura, horticultura de traspatio, claves para el sustento en regiones rurales. Diversos estudios sobre agricultura familiar en América Latina han mostrado que donde existen fuentes subterráneas accesibles y una organización capaz de gestionarlas, se incrementan las posibilidades de diversificar ingresos, mejorar la dieta familiar y estabilizar la economía del hogar, aspectos que enlazan el ODS 6 con otros objetivos como el ODS 1 (fin de la pobreza) y el ODS 2 (hambre cero). Esto refleja cómo el agua subterránea se convierte en un recurso que articula identidad, trabajo y cohesión comunitaria, actuando como motor de desarrollo local en territorios rurales que enfrentan alta variabilidad climática y limitaciones en infraestructura ([United Nations-Water, 2024](#); [United Nations, 2022](#)).

Otro aspecto relevante de articulación entre el agua subterránea y ODS 6 tiene que ver con la reducción de desigualdades territoriales en el acceso a agua segura. Mientras que las zonas urbanas suelen contar con redes de acueducto de mayor continuidad y cobertura, muchas áreas rurales enfrentan sistemas precarios en infraestructura, limitaciones de potabilización y distribución. En este contexto, el aprovechamiento de aguas subterráneas mediante pozos y sistemas locales de abastecimiento, como instalación de bombas de pequeña escala y la construcción de esquemas comunitarios de distribución, puede constituir una alternativa costo-efectiva para mejorar la seguridad hídrica. En Colombia la provisión rural de agua ha dependido en numerosos casos de esquemas de gestión comunitaria, en los que organizaciones locales participan en la operación, administración y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento, lo que refuerza la relación entre el uso sostenible del recurso subterráneo, la gobernanza local del agua y el cumplimiento de la meta 6.1 del ODS 6 ([United Nations, 2022](#); [United Nations, s. f.](#); [IDEAM, 2023a](#); [Food and Agriculture Organization of the United Nations \[FAO\], 2016](#); [Llano-Arias, 2015](#); [Domínguez Rivera et al., 2016](#)).

No obstante, la expansión del uso de agua subterránea también genera desafíos que deben abordarse de manera explícita para no comprometer las metas del ODS 6. La sobreexplotación localizada de acuíferos, la intrusión salina en zonas costeras, la contaminación por sustancias derivadas de actividades agrícolas intensivas y la falta de monitoreo pueden comprometer la calidad y reducir la disponibilidad del recurso, afectando de manera desproporcionada a las comunidades rurales más pobres. Informes sobre acuíferos en Colombia y revisiones globales sobre la gestión de aguas subterráneas insisten en que la contribución del agua subterránea al cumplimiento del ODS 6 depende de incorporar criterios técnicos en la gobernanza

comunitaria, establecer límites de extracción compatibles con la recarga, proteger las zonas de recarga y fortalecer las capacidades locales para medir niveles y calidad, de modo que el uso actual no comprometa la disponibilidad futura ([IDEAM, 2023a](#); [IDEAM, 2023b](#); [United Nations, 2022](#); [FAO, 2015](#)).

A pesar de estos desafíos, el agua subterránea abre un espacio relevante para la innovación en saneamiento básico y eficiencia hídrica en comunidades rurales que buscan avanzar en varias metas del ODS 6 de manera simultánea. Muchas comunidades han diseñado sistemas integrados de bombeo desde acuíferos con filtración natural, tecnologías de potabilización de bajo costo, recolección de aguas lluvias y reutilización para riego, así como la adopción de bombas solares y sistemas de riego presurizado en pequeña escala. Este tipo de soluciones permite avanzar simultáneamente en varias metas del ODS 6, como mejorar la calidad de agua reduciendo la carga de contaminantes (6.3), aumentar la eficiencia y productividad del uso del recurso (6.4), salvaguardar ecosistemas relacionados con el agua al disminuir la presión sobre fuentes superficiales (6.6) y fortalecer la participación comunitaria en la planificación y el control de los sistemas (6.b) ([FAO, 2015](#); [FAO, 2016](#); [United Nations, 2022](#)).

En síntesis, el agua subterránea es un recurso estratégico para el cumplimiento del ODS 6 en comunidades rurales, al ofrecer una fuente relativamente confiable, sostener actividades productivas, impulsar la organización comunitaria y aportar resiliencia frente al cambio climático. Sin embargo, su contribución sólo será positiva si la explotación se mantiene dentro de márgenes compatibles con la recarga y si se acompaña de medidas de protección de la calidad. Cuando las comunidades gestionan sus acuíferos de manera organizada, con información suficiente y apoyo técnico, el agua subterránea se convierte en una herramienta poderosa para construir

territorios más equitativos, autosuficientes y alineados con los principios de sostenibilidad y justicia hídrica que inspiran la Agenda 2030 ([United Nations, 2022](#); [United Nations-Water \[UN-Water\], 2023](#); [IDEAM, 2023a](#); [Smith et al., 2016](#)).

## **2.6. Tecnologías disponibles y prácticas para la gestión sostenible**

En escala internacional se reconoce que la gestión sostenible de las aguas subterráneas no depende únicamente de pozos, estaciones de bombeo o infraestructura hidráulica, sino de un conjunto integrado de tecnologías y prácticas que combinan instrumentos de planificación y gobernanza, redes de monitoreo, herramientas de información, medidas de manejo de la demanda, esquemas de recarga gestionada de acuíferos (Managed Aquifer Recharge – MAR, por siglas en inglés) y estrategias de protección de la calidad. En el Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022, dedicado a las aguas subterráneas, sintetiza este enfoque al señalar que la resiliencia hídrica y climática se fortalece cuando el uso del recurso se apoya en redes de observación bien diseñadas, marcos regulatorios robustos y tecnologías que permitan la recarga gestionada, la gestión conjunta de aguas superficiales y subterráneas y la protección de zonas de recarga y captación ([United Nations, 2022](#); [Dillon et al., 2022](#)).

En el contexto colombiano una primera tecnología está constituida por los instrumentos de planeación y gestión específicamente orientados a los acuíferos. La Política Nacional para la Gestión Integral de Recursos Hídricos (PNGIRH) reconoce explícitamente las aguas subterráneas como patrimonio público y recurso estratégico, e introduce la necesidad de planes de manejo específicos para acuíferos, integrados en la ordenación del recurso hídrico a escala cuenca. Sobre esta base, el Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB) y la Guía metodológica para la formulación de Planes de Manejo Ambiental de

Acuíferos (PMAA) definen una ruta estandarizada para delimitar sistemas acuíferos, evaluar su estado cuantitativo y cualitativo, determinar sus niveles de vulnerabilidad y estructurar medidas de manejo que incluyen la regulación de extracciones, la protección de zonas de recarga, la identificación de perímetros de protección para captaciones y la compatibilización del uso del agua con instrumentos de ordenamiento territorial ([Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial \[MAVDT\], 2010](#); [MADS, 2014d](#); [MADS, 2014c](#)).

Una segunda tecnología se relaciona con los sistemas de monitoreo y las plataformas de información que soportan la toma de decisiones. El IDEAM, en coordinación con el Ministerio de Ambiente y las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), opera la Red Nacional de Monitoreo Básico de Aguas Subterráneas (RNASUB) como parte del PNASUB; esta red se articula con redes regionales y locales, y monitorea niveles piezométricos y calidad del agua en más de un centenar de puntos a escala nacional, complementados por más de 2.200 puntos en redes regionales donde se miden parámetros como conductividad eléctrica, nitratos, calcio, pH, hierro, coliformes y, en algunos casos, plaguicidas y metales pesados. Los datos se integran en el Sistema de Información de Recursos Hídricos (SIRH y SIRH 2.0), que incorpora herramientas web para consulta, descarga y visualización, lo cual transforma la información hidrogeológica y de calidad en una “tecnología de gestión” accesible para autoridades, investigadores y usuarios, y es particularmente relevante para regiones con alta dependencia del agua subterránea como el Caribe y subregiones de Córdoba ([IGRAC, s. f.](#); [IDEAM, 2023a](#); [IDEAM, 2023b](#)).

El país ha empezado a implementar un conjunto de tecnologías y estrategias orientadas a la recarga controlada de acuíferos y al manejo integrado de las aguas superficiales y subterráneas, particularmente relevantes en la región Caribe, donde la marcada estacionalidad de las precipitaciones y la variabilidad climática incrementan el riesgo de

escasez hídrica. De acuerdo con organismos internacionales como la International Association of Hydrogeologists - IAH y la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], la recarga gestionada (MAR, por sus siglas en inglés) comprende una serie de técnicas, como estanques de infiltración, zanjas destinadas a favorecer la recarga, pozos de inyección de agua al subsuelo, y aprovechamiento tanto de las aguas lluvias como aguas previamente tratadas para recarga, orientadas a almacenar los excedentes hídricos generados durante los períodos húmedos de mayor disponibilidad, mitigar descensos piezométricos, controlar intrusión salina en zonas vulnerables y mejorar la calidad del agua del recurso al pasar por el medio subterráneo (Dillon et al., 2022).

Otro pilar tecnológico se centra en la protección de la calidad del agua y en la construcción y operación segura de pozos. El Informe Mundial de la ONU sobre aguas subterráneas enfatiza que las prácticas más costo-efectivas son preventivas: zonificación de protección de captaciones, control de fuentes puntuales y difusas de contaminación, delimitación de zona de recarga y ordenamiento del uso del suelo, así como aplicación de buenas prácticas en la construcción de pozos (revestimientos adecuados, sellos sanitarios, plataformas de protección y manejo adecuado de los lodos de perforación). Estas directrices coinciden con las guías del Ministerio de Ambiente y de la OPS/CEPIS sobre evaluación de vulnerabilidad intrínseca e Índice de Peligro Potencial (IPP), que recomiendan integrar cartografía de vulnerabilidad, inventario de fuentes de presión y monitoreo de calidad para priorizar medidas de protección en acuíferos someros y altamente cargados, como ocurre en amplias zonas rurales de la región Caribe y del departamento de Córdoba (IGRAC, s. f.).

En un contexto donde la agricultura concentra una proporción considerable del uso de aguas subterráneas, las tecnologías de

eficiencia hídrica en el sector agropecuario se vuelven decisivas para la sostenibilidad del recurso. Evaluaciones internacionales de la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) y estudios sobre demanda hídrica agrícola muestran que el aumento de la productividad del agua, mediante riego por goteo o aspersión de alta eficiencia, programación del riego basada en balances hídricos o sensores de humedad, selección de cultivos y variedades menos demandantes de agua y manejo mejorado de suelos, permite reducir la presión sobre los acuíferos sin comprometer la producción de alimentos (FAO, 2003). En Colombia, la PNGIRH y las iniciativas sectoriales del Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA) promueven explícitamente este tipo de medidas, mientras que el ENA 2022 y el perfil de país elaborado por IGRAC documentan que el uso agrícola representa la mayor parte de las concesiones de agua subterránea, lo que refuerza la necesidad de orientar las inversiones tecnológicas y de extensión rural hacia la eficiencia en el caribe y en departamentos como Córdoba con fuerte vocación agropecuaria (Congreso de Colombia, 1997; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2018; IGRAC, s. f.).

Cabe mencionar el creciente papel de las tecnologías digitales y de las aproximaciones participativas en la gestión sostenible de las aguas subterráneas, con implicaciones directas para regiones con alta vulnerabilidad social como el Caribe colombiano y Córdoba. Plataformas como el SIRH 2.0, los sistemas de información geográfica y los visores hidrogeológicos permiten integrar datos de niveles, calidad, usos y vulnerabilidad en soportes que facilitan la planificación a escala de acuífero y de municipio, mientras que experiencias internacionales documentadas por redes como la IAH y programas apoyados por la FAO y Global Water Partnership (GWP) muestran que la formación de líderes locales en la gestión de las aguas subterráneas, la formación de comités de usuarios y la participación comunitaria en

el monitoreo y el control de extracciones mejoran el cumplimiento de las reglas de uso y aumentan la aceptación social de medidas como la limitación de bombeos o la reconversión de prácticas agrícolas (IGRAC, s. f.; Dillon et al., 2022; United Nations, 2022). En conjunto estas tecnologías, desde los instrumentos de planeación y monitoreo hasta las obras de recarga, las prácticas de conservación de suelos y los programas de uso eficiente, conforman un portafolio que, adaptado a las condiciones hidrogeológicas y socioeconómicas de la región Caribe y de Córdoba, constituye la base para avanzar hacia una gestión realmente sostenible del agua subterránea.

A escala internacional, la oferta tecnológica asociada al uso de aguas subterráneas se organiza en bloques interdependientes: i) las tecnologías de captación y extracción (pozos excavados, aljibes, pozos perforados, bombas manuales, bombas motorizadas, sistemas solares); ii) tecnologías de tratamiento para consumo humano que aseguren la calidad requerida para los distintos usos (desde unidades domésticas hasta plantas compactas para pequeños acueductos); y iii) tecnologías y prácticas de gestión que regulan volúmenes, tiempos y formas de aprovechamiento (bombeos acoplado a riego presurizado y manejo de suelos). Organismos como la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Organización Mundial de la salud (OMS), el Banco Mundial coinciden en que no existe una “tecnología universalmente óptima”; la solución adecuada resulta de combinar opciones según la calidad de agua cruda, la escala del sistema, las capacidades locales de operación y mantenimiento y en el contexto normativo, siguiendo el principio de gestión por riesgos y barreras múltiples (United Nations, 2022; FAO, 2016).

El aprovechamiento seguro del agua subterránea depende de un conjunto articulado de tecnologías de captación y extracción, los dispositivos más difundidos siguen siendo los pozos excavados y

perforados, galerías de infiltración y captaciones someras, que permiten acceder a acuíferos libres o semiconfinados de relativa productividad, equipos de bombeo y trenes de tratamiento que permitan ajustar la calidad del recurso a los requisitos de consumo humano y a las exigencias de la producción agropecuaria. En Colombia, la mayor parte de los puntos de agua subterránea inventariados corresponden a pozos perforados con bombas sumergibles o de superficie, complementados con pozos de observación y piezómetros usados para monitoreo de niveles y calidad. Los lineamientos metodológicos del IDEAM y la evidencia compilada por el ENA insisten en que la tecnología de captación no puede reducirse al tipo de bomba o al diámetro de la tubería: incluye la correcta ubicación del pozo en función de la geología local, el diseño del ademe y filtros, la construcción del sello sanitario, el ensayo de bombeo para determinar caudal óptimo y la conexión con sistemas de almacenamiento y cloración donde se destina a consumo humano ([United Nations, 2022](#); [IDEAM, 2013b](#); [IDEAM, 2015](#); [World Health Organization \[WHO\], 2022](#)).

En cuanto a los sistemas de bombeo, la transición desde dispositivos manuales hacia bombas eléctricas y solares ha ampliado la capacidad de extracción de agua subterránea, especialmente en sistemas de abastecimiento rural y en la agricultura de pequeña y mediana escala. En Colombia, instrumentos técnicos como el Formulario Único Nacional para el Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS) permiten registrar el tipo de captación, el método de extracción, la fuente de energía, la clase de bomba, la potencia instalada, la profundidad del punto de succión, el régimen de bombeo y los métodos de medición de caudal, incluyendo aforos volumétricos, macromedidores y micromedidores. Este registro abarca desde bombas de mano, como la denominada “Bomba Rosario”, empleada en pozos de poca profundidad, hasta bombas sumergibles de alta

capacidad utilizadas en distritos de riego o en sistemas de abastecimiento de centros poblados. No obstante, la modernización del bombeo no debe entenderse únicamente como aumento de capacidad hidráulica, pues la extracción intensiva sin medición de caudales, sin límites operativos y sin articulación con Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos puede favorecer descensos sostenidos del nivel freático, reducción del rendimiento de los pozos, intrusión salina en acuíferos vulnerables y pérdida de resiliencia frente a sequías. Por ello, la incorporación de bombas eléctricas o solares debe acompañarse de monitoreo piezométrico, control volumétrico, definición de caudales sostenibles y, cuando sea necesario, esquemas tarifarios o restricciones de horas de operación que mantengan la extracción dentro de márgenes compatibles con la recarga del acuífero (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], Instituto Colombiano de Geología y Minería [INGEOMINAS], & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2009; MADS, 2014a; FAO, 2016; Solís Sosa, 2023).

Más allá de la captación convencional, se ha consolidado un conjunto de tecnologías orientadas a mejorar la disponibilidad y calidad del agua subterránea mediante la interacción controlada con cuerpos superficiales. Entre ellas destacan la filtración ribereña o “bank infiltración”, que induce flujo desde ríos o lagos hacia pozos cercanos para aprovechar la atenuación natural de contaminantes en el subsuelo, y la recarga gestionada de acuíferos (MAR), que utiliza lagunas de infiltración, zanjas de contorno, pozos secos o inyección directa para almacenar excedentes de agua lluvia o efluentes tratados en el acuífero. Las Guías de UNESCO y propuestas del Fondo de Adaptación señalan que estas tecnologías, cuando se diseñan con caracterización hidrogeológica adecuada, control de la calidad del agua de recarga y redes de monitoreo, permiten amortiguar eventos extremos de sequía e inundación, sostener caudales base y mejorar la

calidad del agua subterránea ([United Nations, 2022](#); [Stefan et al., 2021](#); [Smith et al., 2016](#)).

En materia de tratamiento, los estudios hidroquímicos desarrollados por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y trabajos académicos coinciden en que las aguas subterráneas del país suelen presentar baja turbidez y menor carga orgánica que las superficiales, pero con frecuencia exhiben concentraciones elevadas de hierro, manganeso y dureza, que generan problemas de color, sabor, incrustaciones y precipitados en redes y equipos. Esto ha impulsado soluciones tecnológicas basadas en cadenas de aireación, oxidación y filtración, ya sea en tanques abiertos, filtros rápidos o filtros a presión, seguidas de desinfección. Investigaciones como la de Marin Burbano y revisiones recientes de Rivas y colaboradores documentaron que la combinación de oxidantes (cloro, permanganato, ozono) con medios filtrantes adecuados puede lograr remociones de hierro y manganeso superiores al 95 %, siempre que se cuente con una caracterización previa de la calidad del agua, tiempos de contacto suficientes y operación continua ([Delgado, 1957](#); [Marin Burbano, 2011](#); [Guillen Rivas et al., 2021](#)).

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen a Mindtech s.a.s., la Universidad del Valle, la Universidad de Córdoba, Polymeiker s.a.s., MT-Solsosting s.a.s., Instituto de Ciencia y Tecnología Analítica Golden-Hammer s.a.s. por los fondos suministrados en el marco del proyecto MT-012025 (C.I. 71408 Univalle) - Convenio MT-AFICAT-202501. Asimismo, agradecen al Departamento Nacional de Planeación de Colombia a través del Sistema General de Regalías por los recursos suministrados en el marco del proyecto BPIN 2020000100261.

## Referencias

- Argumedo Vivas, H., & Rodelo Bejarano, G. (2002). *Caracterización hidroquímica y bacteriológica del acuífero de Morroa en los municipios de Sampués, Sincelejo, Morroa, Corozal y Los Palmitos en el Departamento de Sucre*. [Trabajo de grado, Universidad de Sucre]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/218>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2020). *Reporte de Alertas Subzonas Hidrográficas: Río Sinú y Alto San Jorge - SZH-RSAS*. <https://www.anla.gov.co/documentos/biblioteca/27-01-2021-anla-rash-rio-sinu-alto-san-jorge.pdf>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2021). *Actualización del Reporte de análisis regional de la Subzona Hidrográfica Alto San Jorge*. <https://www.anla.gov.co/images/documentos/reportes-alertas/18-08-2022-anla-reportes-san-jorge-v12.pdf>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2023). *Reporte de alertas de análisis regional: Offshore Golfo de Urabá, Darién y Caribe Litoral*. <https://www.anla.gov.co/images/documentos/reportes-alertas/reportes-alertas-offshore.pdf>
- Cárdenas, D. N. (2022). *Zonificación hidrogeológica de Colombia a partir de información existente, incluyendo rocas cristalinas*. [Trabajo de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/82871>
- Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993: Ley General Ambiental de Colombia (crea el Ministerio del Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental [SINA])*. Gestor Normativo - Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>
- Congreso de Colombia. (1997). *Ley 373 de 1997: Programa para el uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA)*. Gestor Normativo - Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=342>

Consejo Nacional de Política Económica y Social. **(2018)**. *Documento 3918: Estrategia para la Implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia*. Departamento Nacional de Planeación. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>

Corporación Autónoma Regional del Atlántico. **(2024)**. *Resolución No 0000257 de 2024. Por medio de la cual se adopta la Evaluación Regional del Agua en el departamento del Atlántico, y se toman otras determinaciones*. <https://www.crautonomia.gov.co/documentos/resoluciones/RESOLUCION-0000257-2024.pdf>

Delgado, C. I. **(1957)**. Química de las aguas subterráneas y su importancia desde el punto de vista de potabilidad e higiene. *Boletín Geológico*, 5(1), 44–68. DOI: 10.32685/0120-1425/bolgeol5.1.1957.322

Dillon, P., Alley, W., Zheng, Y., & Vanderzalm, J. **(2022)**. *Managed Aquifer Recharge: Overview and Governance*. International Association of Hydrogeologists (IAH) Special Publication, 90 p. <https://recharge.iah.org/>

Domínguez Rivera, I., Oviedo-Ocaña, E. R., & Restrepo-Tarquino, I. **(2016)**. Service provision in rural water supplies: analysis of four community-based systems in Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 13(77), 117-140. DOI: 10.11144/Javeriana.cdr13-77.sprw

Donado Garzón, L. D., Buitrago Carrillo, J. C., Vargas Quintero, M. C., & Granados Robayo, J. A. **(2002)**. *Modelo hidrogeológico conceptual de la zona de recarga del Acuífero Morroa (Departamentos de Sucre y Córdoba)*. DOI: 10.13140/2.1.3322.4003

Florez-Garcia, V., Torres-Saballeth, J., Tuesca-Molina, R., Acosta-Reyes, J., Guevara-Romero, E., Nohora, N., Santacruz-Salas, E., & Acosta-Vergara, T. (2025). Water sources and educational attainment in Colombian adults: evidence from the national nutritional survey. *BMC Public Health*, 25, Article 1385. DOI: 10.1186/s12889-025-22577-8

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2003). *Towards Improved Water Demand Management in Agriculture in the Syrian Arab Republic. First National Symposium on Management and Rationalization of Water Resources Use in Agriculture.*  
<https://www.fao.org/4/af981e/af981e00.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). *Towards a Water and Food Secure Future: Critical Perspectives for Policy-makers.*  
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8af6f4fb-a159-4e83-b4da-90abf8aee3b7/content>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). *Global diagnostic on Groundwater Governance.*  
<https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5706e>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). *AQUASTAT methodology: Water use.* AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture.  
<https://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use/>

Grupo Banco Mundial. (2015). Brasil, Colombia y Perú, entre los que más agua tienen en el mundo. *Noticias.*  
<https://www.worldbank.org/en/news/feature/2015/03/10/brasil-colombia-peru-paises-mas-agua-tienen-en-el-mundo>

Guillen Rivas, J. R., Jaramillo Cedeño, A. R., & Córdoba Mosquera, R. A. (2021). Estudio de los procesos de remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas: una revisión. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(9), 1384-1407.

<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3118/6835>

High-Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. (2015). *Water for food security and nutrition*. Committee on World Food Security, Rome. [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/hlpe/hlpe\\_documents/HLPE\\_Reports/HLPE-Report-9\\_EN.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Reports/HLPE-Report-9_EN.pdf)

International Atomic Energy Agency. (2009). Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina 2006. Capitulo: *Estudio Hidrogeológico con Énfasis en Hidrogeoquímica del Acuífero Morroa (Colombia)*. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE\\_1611s\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1611s_web.pdf)

International Groundwater Resources Assessment Centre. (s. f.). *Colombia: Perfil del país sobre aguas subterráneas*. <https://un-igrac.org/es/data/country-profiles/colombia/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2013a). *Aguas subterráneas en Colombia: una visión general*. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Aguas%20subterr%C3%A1neas>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2013b). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua (ERA)*. 276 p. [https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/lineamientos\\_conceptuales\\_y\\_metodologicos\\_para\\_la\\_evaluacion\\_regional\\_del\\_agua.pdf](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/lineamientos_conceptuales_y_metodologicos_para_la_evaluacion_regional_del_agua.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *Anexo 4 Fichas Síntesis de sistemas acuíferos y aguas subterráneas frente a indicadores*. [https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/anexo\\_4.pdf](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/anexo_4.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2015)**.  
*Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá, D. C., 496 p.  
[https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/estudio\\_nacional\\_agua\\_2014.pdf](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/estudio_nacional_agua_2014.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2020)**. Estado de las aguas subterráneas en Colombia. (Webinar ANDI: Aguas subterráneas y territorios resilientes). [Presentación]. *Asociación Nacional de Empresarios de Colombia*.  
[https://www.andi.com.co/Uploads/PP\\_IDEAM\\_Estado%20de%20las%20aguas%20subterr%C3%A1neas%20en%20Colombiajulio23-2020.pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/PP_IDEAM_Estado%20de%20las%20aguas%20subterr%C3%A1neas%20en%20Colombiajulio23-2020.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2023a)**.  
*Estudio Nacional del Agua 2022*. 464 p.  
[https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-27/estudio\\_nacional\\_del\\_agua\\_2022.pdf](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-27/estudio_nacional_del_agua_2022.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2023b)**.  
Sistemas acuíferos del área hidrográfica Caribe. En: *Anexo 7: Aguas subterráneas*. (Estudio Nacional del Agua 2022).  
[https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-09-05/anexo\\_7\\_aguas\\_subterraneeas\\_ena\\_2022\\_1.pdf](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-09-05/anexo_7_aguas_subterraneeas_ena_2022_1.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2023c)**.  
*Resumen Estudio Nacional del Agua 2022*.  
[http://archivo.ideam.gov.co/documents/14691/125666586/Resumen\\_Ejecutivo\\_ENA2022.pdf/020c7dfb-dea1-4e79-8ab2-e3b93382bc8e?version=1.0](http://archivo.ideam.gov.co/documents/14691/125666586/Resumen_Ejecutivo_ENA2022.pdf/020c7dfb-dea1-4e79-8ab2-e3b93382bc8e?version=1.0)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2025)**.  
*Sabanas de datos del RURH*. Boletines técnicos IDEAM.  
<https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/boletines/Sabanas-de-datos-del-RURH>

Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear [INGEOMINAS]. **(2003)**. *Consideraciones Técnicas para el Manejo*

*del Agua Subterránea en el Departamento de Córdoba.* Servicio Geológico Colombiano.

[https://recordcenter.sgc.gov.co/B3/12006025002784/documento/nativos/MEMORIA\\_CONSIDERACIONES\\_T%C3%89CNICAS\\_PARA\\_EL\\_MANEJO\\_DEL\\_AGUA\\_SUBTERR%C3%81N\\_.pdf](https://recordcenter.sgc.gov.co/B3/12006025002784/documento/nativos/MEMORIA_CONSIDERACIONES_T%C3%89CNICAS_PARA_EL_MANEJO_DEL_AGUA_SUBTERR%C3%81N_.pdf)

Instituto Nacional de Salud. (2023). *INCA 2022: Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano.* Ministerio de Salud y Protección Social. <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-colombia-2022.pdf>

Justia Colombia. (s. f.). *Constitución Política de Colombia: Título II, Capítulo 3.* <https://colombia.justia.com/nacionales/constitucion-politica-de-colombia/titulo-ii/capitulo-3/>

Koncagül, E., & Tran, M. (2022). *The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible; facts and figures.* United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380733>

Lapworth, D. J., Boving, T. B., Kreamer, D. K., Kebede, S., & Smedley, P. L. (2022). Groundwater quality: Global threats, opportunities and realising the potential of groundwater. *Science of The Total Environment*, 811, Article 152471. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152471

Llano-Arias, V. (2015). Community knowledge sharing and co-production of water services: Two cases of community aqueduct associations in Colombia. *Water Alternatives* 8(2), 77-98. <https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol8/v8issue2/282-a8-2-5/file>

López Ramírez, S. E. (2015). *Actualización del modelo numérico del acuífero Morroa utilizando Visual Modflow Flex.* [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/679a1161-ae13-4dbf-a459-21447fdbb81c/content>

Lora-Ariza, B., Piña, A., & Donado, L. D. (2024). Assessment of groundwater quality for human consumption and its health risks in the Middle Magdalena Valley, Colombia. *Scientific Reports*, 14, Article 11346. DOI: 10.1038/s41598-024-61259-0

Marin Burbano, L. M. (2011). *Remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro y filtración en grava*. [Tesis de Maestría, Universidad del Valle]. Repositorio institucional.  
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/bc4d863-65b9-4a63-a9a9-b1edf60d75ff/content>

Marrugo-Negrete, J., Paternina-Urbe, R., Enamorado-Montes, G., Herrera-Arango, J., Rosso-Pinto, M., Ospino-Contreras, J., & Pinedo-Hernández, J. (2024). Groundwater quality assessment in the La Mojana region of northern Colombia: implications for consumption, irrigation, and human health risks. *Applied Water Science*, 14, Article 96. DOI: 10.1007/s13201-024-02156-9

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014a). *Demanda Hídrica*. En: *Gestión Integral del Recurso Hídrico: Administración del recurso hídrico*. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico/demanda>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014b). *Acuífero*. En: *Gestión Integral del Recurso Hídrico: Planificación de Cuencas Hidrográficas*. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/acuiferos>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014c). *Guía metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA)*. <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/guia->

metodologica-para-la-formulacion-de-planos-de-manejo-ambiental-de-acuíferos-pmaa/

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **(2014d)**. *Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB)*. Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Anexo-37.-Programa-Nacional-de-Aguas-Subterra%CC%81neas.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **(2018)**. *Guía para el uso eficiente y ahorro del agua: Una visión colectiva para el uso sostenible y responsable del agua*. Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico. Grupo de Administración de Recursos Hídrico. 92 p. [https://archivo.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Uso-eficiente-y-ahorro-del-agua/GUIA\\_USO\\_EFICIENTE\\_DEL\\_AGUA.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Uso-eficiente-y-ahorro-del-agua/GUIA_USO_EFICIENTE_DEL_AGUA.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **(2023)**. *El agua subterránea, recurso por investigar*. <https://www.minambiente.gov.co/el-agua-subterranea-recurso-por-investigar/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2024)**. *Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico*. 100 p. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/06/Programa-Nacional-de-Monitoreo-del-Recurso-Hidrico.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. **(2007)**. *Decreto 1323 de 2007 - Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH)*. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/decreto-1323-de-2007/>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. **(2010)**. *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C.: Colombia, 124 p. <https://www.minambiente.gov.co/wp->

content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Instituto Colombiano de Geología y Minería, & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2009)**. *Formulario Único Nacional para el Inventario de Puntos de Agua Subterránea - FUNIAS*.  
<https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/publicacion-jue-31122009-1200>

Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. **(2007)**. *Resolución 2115 de 2007: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*. <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. **(2017)**. *Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009*.  
<https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

Pacheco-Ruiz, D. A., & Villegas Yépez, P. P. **(2003)**. *Caracterización hidráulica del acuífero Morroa utilizando pruebas de bombeo*. [Trabajo de grado, Universidad de Sucre]. Repositorio institucional.  
<https://repositorio.unisucre.edu.co/server/api/core/bitstreams/1f192d3c-0b78-4954-8ddd-1cefe6ea6baa/content>

Presidencia de la República de Colombia. **(1974)**. *Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Gestor Normativo - Función Pública.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>

Presidencia de la República de Colombia. **(1978)**. *Decreto 1541 de 1978: Reglamenta las aguas no marítimas*. Gestor Normativo - Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1250>

Presidencia de la República de Colombia. **(2007)**. *Decreto 1575 de 2007: Por el cual se establece el Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano*. Gestor Normativo - Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>

Presidencia de la República de Colombia. **(2012)**. *Decreto 1640 de 2012: Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la Planificación, ordenación y manejo de cuencas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones*. Gestor Normativo - Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49987>

Presidencia de la República de Colombia. **(2015)**. *Decreto 1076 de 2015: Decreto Único Reglamentario del sector Ambiente*. Gestor Normativo - Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Ramos-Parra, Y. J., Díaz-Gómez, J., Suarez-Escobar, A., Sánchez-Quitian, Z. A., Suescún-Carrero, S. H., Zipa-Casas, N. Y., & Medina-Alfonso, M. **(2025)**. Risk assessment of the drinking water supply and distribution system in rural areas in Boyacá-Colombia using water safety plans. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11, Article 101169. DOI: 10.1016/j.cscee.2025.101169

Smith, M., Cross, K., Paden, M., & Lavan, P. **(2016)**. *Spring: Managing groundwater sustainably*. International Union for Conservation of Nature (IUCN) Library System. DOI: 10.2305/IUCN.CH.2016.WANI.8.en

Solís Sosa, B. (2023). *Groundwater in Latin America and the Caribbean: Policies and Experiences for Managing and Preserving Aquifers*. Inter-American Development Bank (IDB). DOI: 10.18235/0004871

Statista. (2024). *Recurso hídrico: ¿Cuánta agua se consume en el mundo?*  
<https://es.statista.com/grafico/31832/consumo-anual-de-agua-per-capita-en-paises-seleccionados-de-todo-el-mundo/>

Stefan, C., Moreno Gómez, M. Zapata Barra, C., Alonso Asencio, M., & Brinker Palomo, J. (2021). *Selección de las mejores prácticas en la gestión de la recarga de acuíferos en América Latina*. Dresden, Alemania.  
[https://digires.webspace.tu-dresden.de/wp-content/uploads/2021/12/digires\\_mar\\_brochure\\_latin\\_america\\_es.pdf](https://digires.webspace.tu-dresden.de/wp-content/uploads/2021/12/digires_mar_brochure_latin_america_es.pdf)

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2017). *Calidad del Agua. Normatividad – Reporte de información al SUI – Diagnóstico nacional*. Departamento Nacional de Planeación (DNP).  
[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/ebook\\_calidad\\_de\\_agua-26-12-2017-vbibiana1%20%281%29.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/ebook_calidad_de_agua-26-12-2017-vbibiana1%20%281%29.pdf)

United Nations. (s. f.). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. Objetivos de desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

United Nations. (2022). *The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible*. UNESCO, Paris. DOI: 10.18356/9789210015363

United Nations-Water. (2018). *Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report on Water and Sanitation 2018*. New York.  
[https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/19901SDG\\_6\\_SR2018\\_web\\_3.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/19901SDG_6_SR2018_web_3.pdf)

United Nations-Water. (2023). *Blueprint for Acceleration: Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report on Water and Sanitation 2023*.

[https://www.unwater.org/sites/default/files/2023-08/UN-Water\\_SDG6\\_SynthesisReport\\_2023\\_mobile%20version.pdf](https://www.unwater.org/sites/default/files/2023-08/UN-Water_SDG6_SynthesisReport_2023_mobile%20version.pdf)

United Nations-Water. (2024). *SDG 6 snapshot in Colombia. Data Portal.* United Nations. <https://www.sdg6data.org/en/country-or-area/Colombia>

World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda*, 4th ed., 1st add. and 2nd add. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/352532>

World Meteorological Organization. (2022). World Water Day focuses on groundwater. *News World Meteorological Organization.* <https://wmo.int/media/news/world-water-day-focuses-groundwater#:~:text=Groundwater%20accounts%20for%2099%25%20of,%E2%80%9Cmaking%20the%20invisible%20visible.%E2%80%9D>

## Capítulo 3

# Aguas subterráneas como reservorios vitales para el equilibrio ambiental de la región

Rafael A. Bolaño-Vásquez, Nazly G. Chate-Galvis, Luis R. Anaya-Tatis,  
Kevin H. Libreros-Castillo, Emily Torres-Palencia

---

### Resumen

El capítulo 3 examina el papel de las aguas subterráneas como reservorios estratégicos para el equilibrio ambiental de la región, destacando su función en la seguridad hídrica, el abastecimiento de las comunidades en el contexto regional, la producción agropecuaria y la conservación de ecosistemas asociados, con especial atención en el departamento de Córdoba y su articulación con los sistemas hidrogeológicos del Caribe colombiano. A partir de una revisión técnica y documental, el capítulo expone que los acuíferos no solo constituyen una fuente de agua de gran importancia para territorios con limitaciones de oferta superficial, sino que también cumplen un papel fundamental en la regulación hidrológica, la resiliencia frente a la variabilidad climática y la sostenibilidad de los procesos sociales y productivos en el ámbito regional. En este marco, el capítulo aborda los instrumentos de política pública, planificación y monitoreo desarrollados en Colombia para la gestión del agua, destacando el papel del IDEAM y resaltando la importancia de instrumentos como el Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB), la Red Nacional de Monitoreo Básico de Aguas subterráneas (RNASUB), el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) y los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA) como bases para la toma de decisiones sustentadas en evidencia.

De igual manera, se desarrollan los principios de tratamiento aplicables a acueductos abastecidos con aguas subterráneas, enfatizando que la seguridad del agua no puede inferirse a partir de su apariencia, sino que requiere control fisicoquímico, microbiológico y sanitario continuo. El capítulo también analiza los sistemas de tratamiento más pertinentes para este tipo de fuentes y dedica una atención particular a los bombeos artesanales, incorporando criterios de diseño sanitario mínimo, protección física de las captaciones, saneamiento del entorno inmediato y mantenimiento comunitario como condiciones indispensables para reducir riesgos de contaminación y garantizar la continuidad del servicio. De forma complementaria, se estudian los fundamentos de la exploración hidrogeológica y la relevancia del monitoreo piezométrico, la caracterización de la recarga, la evaluación de la calidad y la interpretación del comportamiento hidráulico de los acuíferos como insumos esenciales para orientar su aprovechamiento y protección. Finalmente, el capítulo examina las concesiones para el uso de aguas subterráneas y los principales aspectos ambientales asociados a su aprovechamiento, subrayando que la sostenibilidad del recurso depende de la articulación entre conocimiento técnico, control institucional, planificación territorial, protección de zonas de recarga y participación de los actores locales. En conjunto, se concluye que la gestión adecuada de las aguas subterráneas exige un enfoque preventivo e integral que permita evitar procesos de sobreexplotación, deterioro de la calidad, conflictos de uso y afectaciones sobre los servicios ecosistémicos que estos reservorios aportan al territorio.

**Palabras claves:** Seguridad hídrica, equilibrio ambiental, regulación hidrológica, tratamiento del agua, bombeos artesanales, concesiones de agua, zonas de recarga.

**Citar como:** Bolaño-Vásquez, R.A.; Chate-Galvis, N.G.; Anaya-Tatis, L.R.; Libreros-Castillo, K.H.; Torres-Palencia, E. Aguas subterráneas como reservorios vitales para el equilibrio ambiental de la región. En: García-Quintero, A.; Palencia, M.; Combatt, E.M.; Valle-Zapata, H.A. (Eds). MT Pallantia-Publisher, Cali - Colombia, 2026, 109-162. DOI: 10.34294/b.006.c3.2026.05

### 3.1. Introducción

El presente capítulo desarrolla una revisión bibliográfica sobre el papel de las aguas subterráneas como reservorios estratégicos para el equilibrio ambiental y la seguridad hídrica, articulando la discusión desde el referente en el departamento de Córdoba, donde la interacción entre acuíferos, humedales y usos productivos condiciona decisiones concretas de planificación, monitoreo, operación de captaciones y control ambiental. En este marco, las aguas subterráneas representan la mayor parte del agua dulce en estado líquido accesible

a nivel mundial, por lo que constituyen una fuente fundamental tanto para el abastecimiento humano como para el funcionamiento de ecosistemas dependientes del aporte subterráneo. Se estima que alrededor del 97 – 99 % del agua dulce líquida del planeta se almacena en acuíferos, lo que convierte estos reservorios invisibles en un soporte estructural de los sistemas ecológicos, de la producción de alimentos y del abastecimiento humano en prácticamente todas las regiones del mundo. Informes recientes de Naciones Unidas destacan que este recurso, pese a su magnitud, ha sido históricamente subvalorado, lo que se traduce en sobreexplotación local, contaminación crónica y debilidades significativas en monitoreo y gobernanza, especialmente en países de ingresos medios que dependen crecientemente de acuíferos para enfrentar la variabilidad climática y los eventos de sequía prolongada ([United Nations, 2022](#); [World Meteorological Organization \[WMO\], 2022](#)). En consecuencia, para tratar esta problemática se hace indispensable una revisión de la evidencia disponible, apoyada en el análisis crítico de datos e informes, que permita sustentar conclusiones operativas para planificar, monitorear y proteger el recurso subterráneo a nivel departamental.

En Colombia, diversos análisis realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Ministerio de Ambiente coinciden en que una proporción muy significativa del territorio nacional, de alrededor del 75 – 78 %, posee características geológicas propicias para la presencia y posible uso de las aguas subterráneas. De acuerdo con las ediciones más recientes del Estudio Nacional de Agua (2018 y 2022), el país presenta condiciones que favorecen la formación de acuíferos; situación que posiciona a las aguas subterráneas como un recurso estratégico para el abastecimiento, especialmente en escenarios de variabilidad climática y creciente demanda hídrica. No obstante, a pesar de este alto potencial, el conocimiento técnico y científico sobre los acuíferos

colombianos sigue siendo limitado. La información disponible se concentra únicamente en un número reducido de sistemas, mientras que la mayoría carece de estudios detallados que permitan comprender su comportamiento hidrológico y su capacidad de aprovechamiento. Los informes oficiales señalan que sólo una fracción limitada de los acuíferos identificados dispone de un nivel de caracterización considerado adecuado para respaldar procesos de planificación, ordenamiento y asignación de caudales. De acuerdo a estos informes, se estima que entre el 15 y el 30,8 % de los acuíferos identificados cuentan con información hidrogeológica suficiente. En contraste, persisten importantes vacíos de conocimiento relacionados con los procesos de recarga, la dinámica de flujo subterráneo, la calidad del agua y los efectos de las actividades humanas sobre estos sistemas, lo que dificultan la formulación de estrategias de manejo sostenible y reducen la capacidad institucional para tomar decisiones fundamentadas en evidencia científica, lo que representa un desafío clave para la gestión integral del recurso hídrico del país ([Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales \[IDEAM\], 2019](#); [IDEAM, 2023a](#); [IDEAM, 2020](#)).

Esta limitada base de conocimiento contrasta con la creciente relevancia del agua subterránea en la economía y el bienestar del país. Por un lado, análisis recientes señalan que las aguas subterráneas representan una alternativa estratégica de adaptación al cambio climático, dado que su alta capacidad de almacenamiento amortigua la variabilidad intra e interanual de las lluvias y sostiene los caudales base de numerosos ríos en épocas secas; por otro, la información de concesiones compilada por autoridades ambientales y organizaciones como la World Wildlife Fund (WWF) indica que Colombia alrededor de 66 % del volumen de aguas subterráneas concesionada se destina a usos agrícolas, un 22 % a usos industriales y un 10 % al consumo doméstico, urbano rural, lo que revela la presión que el modelo

agroexportador y algunas actividades intensivas en agua ejercen sobre los acuíferos. Esta combinación de alta dependencia y conocimiento incompleto obliga a reforzar la planificación, el monitoreo y la gestión ambiental del recurso subterráneo, tanto a nivel nacional como regional (World Wildlife Fund Colombia [WWF Colombia], 2021; IDEAM, 2019; Corporación Autónoma Regional del Tolima [CORTOLIMA], 2024).

En el Caribe colombiano, y de manera particular en el departamento de Córdoba, las aguas subterráneas desempeñan una función esencial para el equilibrio ambiental y el mantenimiento de sistemas socioecológicos especialmente vulnerables. En esta región convergen extensas planicies aluviales, complejas redes de ciénagas interconectadas y zonas de recarga localizadas en piedemontes y terrazas asociadas a los principales cursos fluviales, lo que configura un escenario hidrogeológico de alta sensibilidad. Diversos estudios de carácter regional, junto con evaluaciones ambientales desarrolladas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), evidencian que en áreas como la cuenca del río Sinú y el Alto San Jorge, existe una estrecha interacción entre acuíferos de tipo libres y semiconfinados. Estos sistemas subterráneos mantienen intercambios permanentes con humedales, ciénagas y cuerpos de aguas superficiales, contribuyendo a la regulación natural de los caudales y al sostenimiento de ecosistemas de gran importancia ecológica. Al mismo tiempo, estos acuíferos se encuentran sometidos a una creciente presión derivada de múltiples actividades humanas. La expansión de la agricultura y la ganadería, el desarrollo de proyectos mineros y el aumento de los usos urbanos han incrementado la demanda del recurso y modificado las dinámicas naturales de recarga y descarga. Como resultado, se configura un entramado complejo de flujos subterráneos que cumple una doble función: por un lado, garantizar los caudales base de ríos y humedales, y por otro, promover

agua para acueductos rurales, pequeñas poblaciones y distintas actividades productivas. Esta interdependencia entre sistemas naturales y uso antrópicos resalta la importancia estratégica de las aguas subterráneas con Córdoba, así como la necesidad de fortalecer su conocimiento y gestión integrada para asegurar su sostenibilidad a largo plazo ([Autoridad Nacional de Licencias Ambientales \[ANLA\], 2020a](#); [IDEAM, 2023b](#)).

Desde la perspectiva de uso y gestión, trabajos recientes han documentado que, en municipios como Montería y otros de la llanura del Sinú, el agua subterránea es utilizada para el abastecimiento de acueductos veredales, sistemas de riego a pequeña escala, usos pecuarios y en menor medida, para abastecimiento urbano complementario, mediante pozos profundos y sistemas de bombeo mecánico o artesanales. Paralelamente, el seguimiento a las concesiones de aguas subterráneas otorgadas por la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS) ha permitido identificar que, solo en el municipio de Montería, se han otorgado nueve (9) concesiones de aguas subterráneas entre 2012 y 2019, mientras que en el ámbito más amplio del área Río Sinú-Alto San Jorge se registran 101 concesiones de agua, de las cuales aproximadamente el 50% se orienta a actividades agrícolas y pecuarias, cerca del 29% a uso doméstico y consumo humano, y alrededor del 20% a usos industriales, patrón que refleja la centralidad del sector agropecuario en la demanda hídrica regional ([Pérez Rubio, 2020](#); [Narváz Álvarez, 2023](#); [ANLA, 2020a](#)).

En este contexto, el Capítulo 3 se propone caracterizar de manera integral el papel de las aguas subterráneas como reservorios vitales para el equilibrio ambiental de la región, avanzando progresivamente desde los marcos de política y planificación hasta las prácticas concretas de uso, tratamiento y control ambiental. Se analizan los

principales planes y programas gubernamentales que orientan la gestión del recurso hídrico subterráneo en Colombia y en específico el departamento de Córdoba. Igualmente, se centrará en los principios de tratamiento de acueductos que usan fuentes subterráneas, así como las configuraciones tecnológicas y operativas de los sistemas de bombeo, incluidos los esquemas artesanales presentes en acueductos veredales y pequeños sistemas comunitarios. Se describen los avances y vacíos en la exploración y caracterización hidrogeológica en la región Caribe y, de forma particular en Córdoba, abordando tanto las unidades acuíferas identificadas como los métodos utilizados para su evaluación. Finalmente, examina el régimen de concesiones de aguas subterráneas y los principales aspectos ambientales asociados a su uso, con el fin de ofrecer insumos concretos para la planificación, el monitoreo y la gestión sostenible del recurso.

### **3.2. Planes ambientales gubernamentales para la gestión de aguas subterráneas en el departamento**

La gestión de las aguas subterráneas en el departamento de Córdoba se inscribe en un marco normativo y programático que articula directrices nacionales, instrumentos regionales de planificación y políticas sectoriales de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico. Desde comienzos de la década de 2010, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (antiguamente Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]) adopta la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), con un horizonte de vigencia a 12 años (2010–2022) y una extensión transitoria de vigencia hasta 2024, la cual estableció principios, objetivos específicos, metas e indicadores para garantizar la disponibilidad, calidad y gobernanza del agua en todas sus formas, incluyendo explícitamente el recurso subterráneo como parte de la oferta hídrica estratégica del país para usos actuales y futuros, bajo

principios de prevención, equidad, gestión de cuencas, precaución y participación social. La PNGIRH reconoció desde su origen que las aguas subterráneas constituyen reservas estratégicas para el abastecimiento humano, regulación de caudales, la producción agropecuaria, el suministro a poblaciones rurales y la resiliencia frente a la variabilidad climática, y orienta a las autoridades ambientales regionales a desarrollar programas de conocimiento, monitoreo, control de la demanda y fortalecimiento institucional aplicables tanto a aguas superficiales como subterráneas ([Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial \[MAVDT\], 2010a](#)).

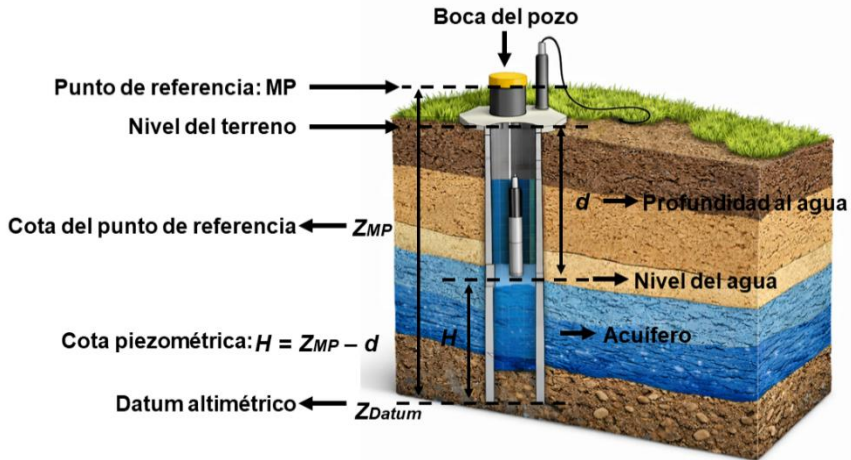
Desde el marco de esta política se derivan dos instrumentos clave que planifican la gestión del agua subterránea en el país y sirven de base a los planes regionales y departamentales: el Plan Hídrico Nacional (PHN) y el Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB). El PHN se concibe como el instrumento de planificación que implementa la PNGIRH mediante un portafolio de programas y proyectos para el conocimiento, ordenación, uso eficiente y conservación del recurso hídrico, articulando competencias entre el nivel nacional, las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y las entidades territoriales. En paralelo, el PNASUB, formulado por el Ministerio de Ambiente e IDEAM, define la estrategia específica para las aguas subterráneas, estructurada en ejes de conocimiento hidrogeológico, monitoreo piezométrico y de calidad, ordenación mediante Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA) y fortalecimiento institucional y normativo. Este enfoque exige que las autoridades ambientales regionales, incluida la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS), integren criterios de recarga, disponibilidad sostenible, vulnerabilidad a la contaminación y eficiencia en el uso del recurso subterráneo en la toma de decisiones, articulando los PMAA con los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), los Planes de Ordenamiento

Territorial (POT) y los planes departamentales del agua, de forma que la planificación sectorial no desborde la capacidad de los sistemas acuíferos (MADS, 2014a; MAVDT, 2010a; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2014c; MADS, 2010).

El despliegue de estas políticas se apoya en un sistema nacional de información y monitoreo que incorpora de manera explícita a las aguas subterráneas como una variable de gestión pública. En el marco del Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB), el IDEAM ha fortalecido la Red Nacional de Monitoreo Básico de Aguas Subterráneas (RNASUB) y su articulación con el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), con el propósito de consolidar registros comparables sobre cantidad, calidad, y aprovechamiento del recurso, así como sobre los trámites administrativos asociados al uso del recurso, reportados por las autoridades ambientales. Dentro de este conjunto de información, los datos piezométricos adquieren especial relevancia, dado que permiten determinar la posición del agua dentro del acuífero con respecto a un punto de referencia conocido y, con ello, analizar tendencias de descenso, recuperación o cambio en los gradientes de flujo subterráneo. Desde una perspectiva operativa, esta medición consiste en registrar la profundidad del nivel del agua desde la boca del pozo o desde un punto fijo de referencia, y convertir esa lectura en cota piezométrica para hacer comparaciones espaciales y temporales entre distintos puntos de monitoreo (véase **Figura 3.1.**), lo que facilita interpretar el estado del acuífero, su respuesta a la extracción y la evolución de su comportamiento hidráulico (IDEAM, 2024).

El Estudio Nacional de Agua 2022 (ENA 2022) reporta que en Colombia se han identificado 67 sistemas acuíferos organizados en 16 provincias hidrogeológicas que cubren cerca del 74 % del territorio nacional, y que la red nacional de monitoreo de aguas subterráneas

opera en 114 puntos (pozos de observación y producción), complementados por redes regionales administradas por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR).



**Figura 3.1.** Esquema conceptual de la medición de la cota piezométrica en un pozo. **MP:** punto de medición o punto de referencia ubicado en la boca del pozo;  **$Z_{MP}$ :** cota altimétrica del punto de medición;  **$d$ :** profundidad del agua medida verticalmente desde el punto de medición hasta el nivel del agua en el pozo;  **$H$ :** cota piezométrica;  **$Z_{Datum}$ :** datum altimétrico o plano de referencia vertical. La relación  $H = Z_{MP} - d$ , indica que la cota piezométrica se obtiene restando a la cota del punto de medición la profundidad medida al nivel del agua. Fuente: Elaboración propia.

El perfil del país de aguas subterráneas elaborado por el International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC), con base en ENA 2022 y la información del SIRH, señala además que la agricultura concentra alrededor del 71 % del volumen concesionado de agua subterráneas, seguida por los usos domésticos (10%) e industrial

(13%), lo que refuerza la necesidad de que los planes ambientales regionales integren criterios de caudal explotable, vulnerabilidad a la contaminación y eficiencia en el uso de agua subterránea ([IGRAC, s. f.](#); [IDEAM, 2023a](#)).

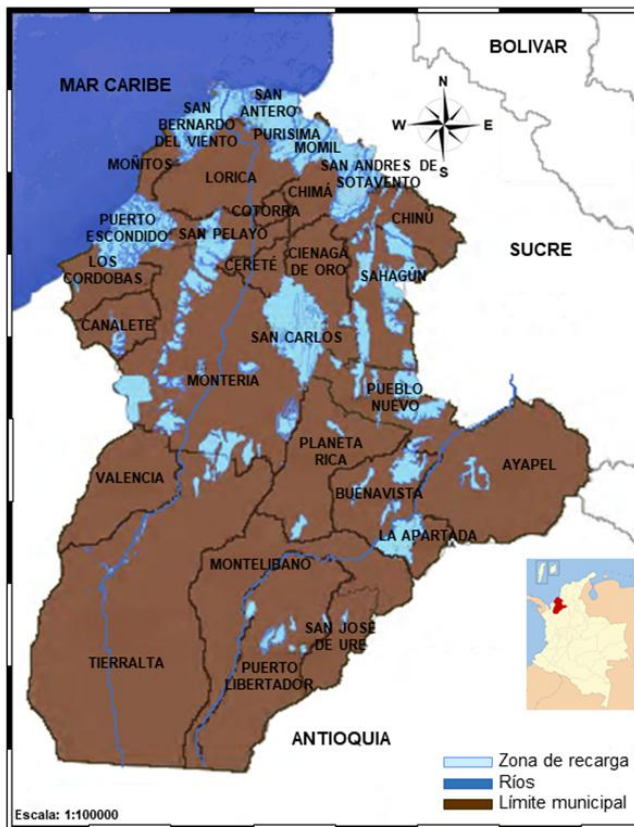
No obstante, evaluaciones académicas recientes han señalado limitaciones estructurales en la formulación e implementación de estos instrumentos, particularmente en relación con el componente subterráneo. El análisis realizado por [Sorza Ríos y Torres Socha \(2023\)](#) sobre la PNGIRH, el PHN y el PNASUB concluye que, si bien la política reconoce la importancia estratégica de las aguas subterráneas, su diagnóstico inicial resultó insuficiente en términos de caracterización hidrogeológica, definición de metas verificables e indicadores específicos para los acuíferos. Esta debilidad condiciona el avance efectivo de instrumentos como los PMAA y su articulación con los POMCA, limitando la capacidad de las autoridades regionales para planificar y gestionar los sistemas acuíferos de manera preventiva y basada en evidencia científica. El estudio resalta además que los procesos de seguimiento y evaluación evidenciaron avances desiguales y fragmentados, con brechas persistentes en la delimitación de zonas de recarga y en la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos, aspectos críticos para la gestión territorial del recurso ([MADS, 2014c](#)).

En materia de planificación, destacan los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA) (Decreto 1640 de 2012) ([Presidencia de la República de Colombia, 2012](#)), el ordenamiento del recurso hídrico (Decreto 3930 de 2010) ([Presidencia de la República de Colombia, 2010](#)) y la incorporación de determinantes ambientales de recarga en los planes de ordenamiento territorial (Ley 388 de 1997, Ley 99 de 1993) ([Congreso de Colombia, 1997b](#); [Congreso de Colombia, 1993](#)).

En la dimensión regulatoria, la exploración y concesión de aguas subterráneas se rigen por el Código de Recursos Naturales (Decreto 2811 de 1974) ([Presidencia de la República de Colombia, 1974](#)) y el Decreto 1541 de 1978 ([Presidencia de la República de Colombia, 1978](#)), compilados en el Decreto 1076 de 2015 ([Presidencia de la República de Colombia, 2015](#)), que establecen la obligación de permisos de exploración, estudios de disponibilidad hídrica, concesión, medición y seguimiento, complementados por la Ley 373 de 1997 sobre uso eficiente y ahorro del agua ([Congreso de Colombia, 1997a](#)), y por la Ley 1333 de 2009 sobre procedimiento sancionatorio ambiental ([Congreso de Colombia, 2009](#)). El PNASUB agrupa estos instrumentos junto con tasas por uso y tasas retributivas como herramientas económicas para desincentivar la sobreexplotación y financiar el monitoreo, y los enlaza con el Sistema Nacional de Información Ambiental y el SIRH como soporte de transparencia y trazabilidad. Este andamiaje de políticas se traduce en un conjunto de instrumentos de planificación, regulación, económicos e informativos específicos para aguas subterráneas, sistematizados en el PNASUB ([MADS, 2014a](#)).

Sobre esta base nacional, el departamento de Córdoba despliega sus planes ambientales y sectoriales, con un papel central de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS). El Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR) 2020–2031 de la CVS incorpora el recurso hídrico como eje estructural de la planificación territorial, con un batería de indicadores e instrumentos orientados a la identificación y espacialización de las problemáticas asociadas a la afectación del recurso hídrico subterráneo, incluyendo la identificación de zonas con alta vulnerabilidad a la contaminación y a la presencia de conflictos de uso del agua. En el PGAR se reconocen explícitamente los humedales, ciénagas y acuíferos de las cuencas del Sinú, San Jorge y Canalete como soporte fundamental de la regulación

hídrica departamental y se plantea la necesidad de consolidar modelos hidrogeológicos y medidas de protección de zonas de recarga (**Figura 3.2.**), en articulación con los POMCA y los determinantes ambientales para los POT municipales (CVS, 2020; CVS, 2024).



**Figura 3.2.** Zonas de recarga de aguas subterráneas en el departamento de Córdoba. Fuente: elaboración propia, adaptado del Plan de Acción Institucional (PAI) 2016–2019 (CVS, 2016).

El Plan de Acción Institucional (PAI) de la CVS concreta estas orientaciones estratégicas en proyectos, metas e indicadores de corto plazo, incorporando acciones relacionadas con la gestión del recurso hídrico, fortalecimiento de los sistemas de información, el seguimiento a los usos y control de aprovechamiento de agua subterránea, la actualización de inventarios de captaciones y pozos, el acompañamiento técnico a municipios cuyo abastecimiento depende total o parcialmente de fuentes subterráneas y la articulación con las entidades territoriales. Aunque el PAI no desarrolla instrumentos exclusivos para las aguas subterráneas, sí establece bases operativas para avanzar en la consolidación del conocimiento, el monitoreo y la planificación integrada del recurso, en coherencia con el PGAR y con los lineamientos nacionales de la PNGIRH y el PNASUB (CVS, 2020; CVS, 2024).

Desde el punto de vista técnico-científico, y como complemento a los instrumentos de planificación institucional, la caracterización del recurso hídrico subterráneo en el departamento se sustenta en estudios hidrogeológicos y diagnósticos ambientales desarrollados por entidades oficiales y académicas. Entre los cuales se destacan el Estudio Nacional del Agua del IDEAM, los diagnósticos Ambientales Regionales del área Sinú-Alto San Jorge elaborados por la ANLA, y los documentos técnicos asociados a los POMCA formulados por la CVS. Estas fuentes coinciden en identificar, para Córdoba, la presencia de varios sistemas hidrogeológicos de importancia regional, entre ellos los acuíferos asociados a las formaciones Betulia, Sincelejo y El Cerrito, así como los depósitos aluviales de los ríos Sinú y San Jorge y unidades vinculadas a terrazas continentales y sistemas de planicie aluvial (ver **Tabla 3.1.**), los cuales presentan distintos grados de vulnerabilidad a la contaminación, en función de factores como la litología, la profundidad del nivel freático, la conectividad con cuerpos de agua

superficial y las presiones antrópicas asociadas al uso del suelo y a las actividades productivas (IDEAM, 2022; ANLA, 2020a; CVS, 2020).

**Tabla 3.1.** Municipios según unidad o sistema acuífero dominante. Fuente: elaboración propia, información tomada de base de registros de usuarios de agua del SIRH por autoridad ambiental (CVS), período de corte 05-12-2024 (IDEAM, 2025).

Unidad / sistema acuífero	Municipios asociados	Riesgo / presión esperada
Sistema acuífero Betulia	Ayapel, Buenavista, Chinú, La Apartada, Planeta Rica, Sahagún,	Alta presión, mayor demanda agrícola y concesiones crecientes.
Acuífero El Cerrito	Buenavista, Planeta Rica, Pueblo Nuevo, Puerto Libertador, Sahagún,	Vulnerabilidad alta a la contaminación.
Depósitos aluviales	Cereté, Chinú, Ciénaga de Oro, Cotorra, Montelíbano, Montería, Planeta Rica, Sahagún, San Andrés de Sotavento, San Antero, San Carlos, Tierralta, Valencia, Chimá.	Explotación histórica para riego y acueductos.
Acuífero aluvial del Sinú	Cereté, Montería, Tierralta.	Vulnerabilidad alta a la contaminación.
Acuífero aluvial del San Jorge	Montelíbano, Montería, Pueblo Nuevo,	Alta dependencia agrícola y minera.
Acuífero Arenas Monas	Puerto Escondido	Baja densidad de concesiones, pero fragilidad eco-hidrológica.
Acuífero Sincelejo	Buenavista, Cereté, Chimá, Chinú, Montelíbano, Sahagún,	Alta susceptibilidad a la contaminación

Desde 2023, el país avanza en la reformulación de la Política Nacional del Agua (PNA), proceso liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en cumplimiento del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia Potencia Mundial de la Vida. Esta actualización, prevista para el periodo 2023–2026, busca reorganizar

la política alrededor de cuatro dimensiones centrales –oferta, demanda, disponibilidad y gobernanza del agua– e incorporar de manera más explícita componentes que en la PNGIRH original tuvieron un desarrollo limitado, entre ellos las aguas subterráneas, los servicios ecosistémicos, la gestión del riesgo hidrológico, el enfoque territorial y los sistemas de conocimiento indígena. El proceso de reformulación de la PNA introduce elementos novedosos muy relevantes para Córdoba y otras regiones del país, que implica la necesidad de revisar y ajustar progresivamente el Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR), los PAI sucesivos, los POMCA, los POT y los Planes Departamentales de Agua (PDA), de modo que la planificación ambiental y sectorial incorpora criterios más robustos de protección de zonas de recarga, manejo sostenible de acuíferos vulnerables, eficiencia en la demanda, mitigación de riesgos hidrológicos y fortalecimiento de la gobernanza hídrica en el territorio (MADS, s. f.).

### **3.3. Principios de tratamiento de acueductos con aguas subterráneas y sistemas de tratamiento – bombeos artesanales**

#### **3.3.1. Principios de tratamiento**

En acueductos que utilizan aguas subterráneas como fuente de abastecimiento, los principios de tratamiento se derivan de una lógica de gestión del riesgo. Esto implica conocer en detalle la fuente de captación, ya sea un pozo profundo o un aljibe, evaluar sus características físicas, químicas y microbiológicas, e identificar de forma sistemática los peligros y fallas potenciales que puedan afectar la calidad del agua; luego se seleccionan barreras de control que pueden comprometer la calidad (por ejemplo, infiltraciones cercanas, fallas en el sello sanitario, escorrentía mal controlada, conexiones defectuosas o almacenamiento sin higiene), y finalmente, se valida el

desempeño con monitoreo y acciones correctivas. Con esta base, el diseño deja de ser rutinario y se orienta a barreras proporcionales al riesgo, articulando protección de la captación, control operacional y verificación. Dichos peligros no se limitan a la presencia de microorganismos patógenos, sino que también incluyen contaminantes químicos y riesgos operativos asociados a fallas en la infraestructura o en los procesos de manejo. Este enfoque coincide con el sistema colombiano para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano (Índice de Riesgo de la Calidad del Agua – IRCA) y con la metodología de Planes de Seguridad del Agua (PSA) promovida por la OMS (Organización Mundial de la Salud), que ayudan a priorizar peligros, definir y validar medidas de control, y sostener la vigilancia sanitaria con criterios verificables, incluso cuando el agua subterránea presenta baja turbidez o apariencia clara; desplazando la lógica reactiva (muestrear solo para cumplir) hacia la lógica preventiva (controlar variables críticas del proceso y de la red) (Presidencia de la República de Colombia, 2007; WHO, 2022; WHO, 2023; Ministerio de Salud y Protección Social [MSPS], 2022; Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [MVCT], 2022a; MVCT, 2023).

A partir de esta caracterización, es necesario establecer barreras de control adecuadas y coherentes con los riesgos identificados, así como verificar su efectividad mediante programas continuos de monitoreo y vigilancia sanitaria. En el contexto colombiano, donde muchos acueductos dependen del agua subterránea debido a la estacionalidad, vulnerabilidad o limitaciones de las fuentes superficiales, el tratamiento debe entenderse como una medida sanitaria y operativa esencial, y no simplemente como la ejecución de una obra física. La potabilidad del agua no puede asumirse por su apariencia visual, ya que la baja turbiedad o el color reducido, comunes en muchas aguas subterráneas, no garantizan por sí mismos que el agua sea segura para el consumo humano.

La calidad del agua está determinada por el cumplimiento verificable de parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la normativa, así como la implementación de rutinas de control que aseguren la estabilidad de dicha calidad a lo largo de todo el sistema, desde la captación hasta la red de distribución, pasando por el tratamiento y el almacenamiento. En este sentido, el marco regulatorio nacional promueve un modelo de control y vigilancia basado en la evaluación del riesgo, que incorpora herramientas como la elaboración de mapas de riesgo, el autocontrol por parte de los prestadores de servicio y el reporte periódico de indicadores de calidad ([Presidencia de la República de Colombia, 2007](#); [Ministerio de la Protección Social \[MPS\] & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial \[MAVDT\], 2007](#)).

Dada la naturaleza particular de las aguas subterráneas, es imperativo que el esquema de diseño diferencie entre riesgos controlables en la fuente y riesgos controlables en tratamiento y distribución. Aunque un acuífero suele presentar una apariencia física característica, como su transparencia, ausencia de olor o baja turbidez, y cierta estabilidad microbiológica comparada con fuentes superficiales, las aguas subterráneas tienden a presentar riesgos químicos persistentes dominados por solutos disueltos, además de riesgos sanitarios por una mala terminación del pozo, infiltración alrededor del cabezal o recontaminación en la red. Por ello, el diseño y la operación deben partir de un diagnóstico del agua cruda y de la vulnerabilidad de la captación, y terminar en un esquema de verificación que confirme, con registros, que cada barrera está funcionando (protección de la captación, procesos unitarios, desinfección y control en red), siguiendo el marco multibarrera de la OMS para asegurar la inocuidad. Se recomienda para captaciones subterráneas, como mínimo medir indicadores microbiológicos (*E. coli* y coliformes), pH, conductividad y parámetros químicos y organolépticos específicos, tales como el

hierro y manganeso (causantes de color y sabores), la dureza (asociada a incrustaciones), gases disueltos como CO<sub>2</sub> o H<sub>2</sub>S (corrosión y olor), nitratos (riesgo sanitario), metales o metaloides (como arsénico) y elementos de origen natural o antrópico (Schmoll et al., 2006; WHO, 2022; Presidencia de la República de Colombia, 2007; MAVDT, 2007).

En Colombia, los valores aceptables de calidad del agua para consumo humano y los criterios de control sanitario en red permiten convertir el diagnóstico en metas operacionales. La **Tabla 3.2.** resume parámetros críticos usados como referencia mínima para diseñar sistemas de tratamiento y verificar su desempeño.

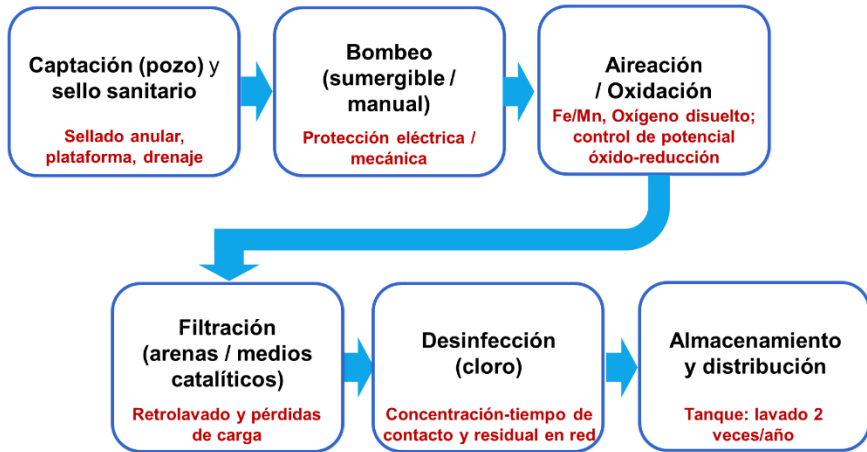
**Tabla 3.2.** Parámetros críticos de control y valores aceptables (agua para consumo humano, Colombia). Fuente: Elaboración propia, datos tomados de Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007), y Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT, 2017).

Parámetro	Unidad	Valor aceptable	Punto de control recomendado
pH	-	6,5 – 9,0	Pozo (agua cruda) y salida de tratamiento.
Conductividad	µS/cm	≤ 1000	Pozo y salida de tratamiento; seguimiento de tendencia.
Hierro Total (Fe)	mg/L	≤ 0,3	Salida de oxidación/filtración; control de retrolavados.
Manganeso (Mn)	mg/L	≤ 0,1	Salida de oxidación/filtración; control de oxidación.
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	≤ 10	Pozo y salida (si hay remoción/mezcla).
Arsénico (As)	mg/L	≤ 0,01	Pozo; salida de tratamiento específico.
Cloro residual libre (en red)	mg/L	0,3 -2,0	Puntos representativos y extremos de red.
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	0 (Ausente)	Salida de tanque y puntos de red.

Este enfoque obliga a mantener procesos constantes de muestreo, análisis de resultados, interpretación técnica y aplicación de acciones correctivas cuando se detectan desviaciones. De esta manera, el diseño del sistema de tratamiento no se concibe como un elemento aislado, sino como parte de un proceso dinámico que debe estar estrechamente vinculado a las decisiones operativas diarias. Actividades como la dosificación de insumos, el lavado y retrolavado de unidades, el seguimiento de parámetros críticos, el registro de datos y la corrección oportuna de fallas deben estar previstas desde el inicio de la operación del acueducto. Este esquema de gestión se articula con el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, que define responsabilidades claras, instrumentos de seguimiento, mecanismos de vigilancia y la aplicación de medidas preventivas y correctivas ([Presidencia de la República de Colombia, 2007; MPS & MAVDT, 2007](#)).

Desde la ingeniería sanitaria, la garantía de que el agua subterránea sea apta para el consumo humano se concibe como un sistema integrado de protección que abarca todas las etapas del proceso, desde la fuente de captación hasta el usuario final (**Figura 3.3.**). Este enfoque se basa en la aplicación de múltiples barreras sucesivas, donde la defensa del acuífero y del punto de extracción ocupa un lugar central, al articularse de manera directa con los procesos de tratamiento y distribución del agua. La protección temprana de la fuente no solo reduce los riesgos sanitarios, sino que también disminuye la dependencia de intervenciones correctivas posteriores. En el caso específico de los pozos, este principio se traduce en la necesidad de garantizar condiciones adecuadas de integridad sanitaria en el punto de captación. Esto implica la correcta terminación del pozo mediante el uso de sellos apropiados, estructuras de protección en la cabeza y un manejo adecuado del entorno inmediato, con el fin de evitar la entrada de contaminantes a través de flujos preferenciales o

cortocircuitos hidráulicos. Estas medidas técnicas son fundamentales para impedir que sustancias indeseables ingresen al sistema subterráneo y comprometan la calidad del agua extraída (Schmoll et al., 2006; World Health Organization [WHO], 2022; WHO, 2023).



**Figura 3.3.** Sistema de tratamiento multibarrera y puntos de control para acueductos abastecidos con aguas subterráneas. Fuente: elaboración propia, información tomada de Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers (WHO, 2023).

De forma complementaria, resulta indispensable establecer y gestionar áreas o zonas de protección alrededor de los pozos y, cuando aplique, de las áreas de recarga, con el fin de regular o restringir actividades que representen un riesgo para el acuífero y para la captación, tales como sistemas de saneamiento in situ mal ubicados, vertimientos, almacenamiento de combustibles o prácticas agropecuarias intensivas en el entorno inmediato. Este enfoque preventivo se sustenta en evidencia internacional que demuestra la vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a fuentes de

contaminación difusa asociadas al uso del suelo y prácticas de saneamiento inadecuadas, así como frente a presiones derivadas de actividades productivas. Asimismo, el manejo inadecuado del bombeo puede generar alteraciones en los gradientes hidráulicos, provocando fenómenos como la sobreexplotación, la intrusión salina en zonas costeras o la movilización de contaminantes presentes en el subsuelo (Schmoll et al., 2006; WHO, 2022; WHO, 2023). En el caso del sistema acuífero Morroa, la evidencia técnica más reciente sigue identificando presiones de calidad vinculadas con la inadecuada disposición de aguas servidas y residuos sólidos, lo que confirma la necesidad de fortalecer los perímetros de protección, el control del uso del suelo y la vigilancia sanitaria de las captaciones. En este contexto, la apariencia visual del agua no constituye un criterio suficiente de seguridad, ya que un agua aparentemente clara puede seguir estando expuesta a contaminación microbiológica o química y, por tanto, requiere verificación mediante monitoreo e inspección sanitaria (IDEAM, 2023b).

### 3.3.2. Sistemas de tratamiento de aguas subterráneas

En sistemas abastecidos por aguas subterráneas, la selección del tratamiento debe partir de la evidencia de la fuente y de la vulnerabilidad sanitaria de la captación, porque la protección natural del acuífero puede perderse por fallas de sello sanitario, infiltraciones cercanas o malas prácticas de operación y almacenamiento. Por ello, además de caracterizar el agua cruda y definir barreras proporcionales al riesgo, se priorizan medidas de saneamiento en infraestructura (cabezal protegido, drenaje pluvial y control de escorrentía) y se mantiene la verificación microbiológica como condición de seguridad. En coherencia con la normativa colombiana y las guías internacionales, el agua destinada a consumo humano debe presentar ausencia de *Escherichia coli* en una muestra de 100 mL,

dado su valor como indicador de contaminación fecal y, por extensión, de riesgo de patógenos entéricos (MPS & MAVDT, 2007; WHO, 2022).

En Colombia, los esquemas de tratamiento más comunes en entornos rurales y pequeños centros urbanos se estructuran según las necesidades específicas de la fuente y mediante una combinación de barreras técnicas que van desde: (i) desinfección exclusiva con tanque de contacto, ideal cuando el riesgo es puramente microbiológico; (ii) procesos de oxidación y filtración para remover hierro y manganeso; (iii) ablandamiento para el control de la dureza; (iv) adsorción para mitigar olores, sabores o contaminantes específicos; y (v) tecnologías de membrana o intercambio iónico para fuentes de alta salinidad o nitratos. Dicha estructura facilita la implementación del tratamiento estrictamente necesario, asegurando que el éxito del sistema esté estrechamente ligado a decisiones de operación (dosificación, tiempos de contacto y ciclos de retrolavados) y a la verificación periódica de los procesos desde su puesta en marcha.

Cuando un acueducto abastecido por agua subterránea distribuye agua tratada por tanque-red, la desinfección con cloro debe diseñarse y operarse para que exista cloro residual libre medible en la red dentro del rango exigido por la normativa (Resolución 2115 de 2007) (MPS & MAVDT, 2007) que establece explícitamente que el cloro residual libre, en cualquier punto de la red de distribución, debe mantenerse entre 0,3 y 2,0 mg/L, lo que obliga a que la operación controle la dosis y el tiempo de contacto y, sobre todo, verifique en campo que el residual se conserva donde hay exposición del usuario y no solo a la salida de la planta, porque el residual es una condición de integridad sanitaria del sistema de distribución frente a eventos de recontaminación (almacenamiento, micro fugas, reparaciones, variaciones de presión y contactos no controlados). En el marco de gestión preventiva del riesgo promovido por la OMS, mantener y monitorear el cloro residual

es parte de la verificación de seguridad, precisamente porque el residual ayuda a prevenir contaminación posterior al tratamiento, entendiéndose como una medida de control/seguimiento operativo. En consecuencia, la desinfección es la barrera sanitaria que no admite ambigüedades si hay distribución (tanque-red-puntos de consumo) y que requiere una estrategia que garantice desinfección efectiva, lo que en la práctica exige controlar dosis y tiempo de contacto y verificar que exista cloro residual donde se aplica. Por ello, la selección del sistema de dosificación (goteo de hipoclorito, cloro gaseoso, tabletas de cloro, electrocloración) debe leerse junto con la capacidad local de medir residual, ajustar dosis y mantener continuidad hidráulica, además de sostener vigilancia y registros ([MPS & MAVDT, 2007](#); [MVCT, 2017](#); [WHO, 2022](#); [WHO, 2023](#)).

En el departamento de Córdoba, la experiencia documentada indica que, para fuentes subterráneas de alta calidad, el esquema de tratamiento suele centrarse en la desinfección y el control del cloro residual, con un respaldo riguroso en el monitoreo. Un ejemplo es el municipio de Chinú, donde el operador gestiona la captación a través de pozos profundos. Allí, el proceso de potabilización se limita a la inyección de cloro gaseoso. Esta operación está vinculada estrictamente al cumplimiento de los límites normativos de remanente para proteger la red de distribución, sustentándose en muestreos periódicos en pozos, tanques y redes, de acuerdo con la regulación nacional vigente ([Veolia Colombia, s. f.](#)).

En el Caribe colombiano, donde coexisten acuíferos costeros, variabilidad climática marcada y presiones de uso, el sistema de tratamiento de aguas subterráneas suele definirse por la hidroquímica más que por la turbiedad. Es frecuente que los sistemas con aguas subterráneas enfrenten retos fisicoquímicos que comprometen la aceptabilidad del usuario, corrosión o incrustación, incluso cuando el

agua es microbiológicamente adecuada. Por ello, la caracterización debe incluir parámetros que la regulación colombiana considera de “consecuencias económicas” como hierro (Fe) total (0,3 mg/L) y manganeso (Mn) (0,1 mg/L), además de indicadores de salinidad (p.ej., cloruros) y conductividad. Ante concentraciones elevadas de hierro y el manganeso, el protocolo técnico más eficaz consiste en pretratamientos como la oxidación (química o por aireación) complementada con filtración para retirar los precipitados, asegurando la correcta maduración del medio, la pérdida de carga y el ciclo de retrolavados (MPS & MAVDT, 2007; Lans Ceballos, 2015; WHO, 2023).

Por el contrario, si predomina la mineralización/salinidad (p. ej., cloruros y conductividad) o contaminantes disueltos persistentes (como nitratos), se evalúan opciones que suelen requerir la mezcla con fuentes de menor mineralización, intercambio iónico o el uso de tecnologías de membranas (nanofiltración/ósmosis inversa) bajo un análisis estricto de costos operativos. Así, el esquema de procesos en esta región está supeditado a un balance entre la química específica de la fuente y la capacidad de operación y sostenibilidad operativa del acueducto (MPS & MAVDT, 2007; WHO, 2022; WHO, 2023).

Si predomina la dureza y el riesgo de incrustación, la decisión técnica se orienta a la protección de bombas, tuberías y tanques mediante ablandamiento (intercambio iónico) o control de incrustación (ajuste de pH/alcalinidad y manejo de carbonatos), complementando con limpieza preventiva. En este escenario la efectividad del proceso queda vinculada no solo al cumplimiento de los estándares de calidad, sino también a la reducción de fallas mecánicas y a la optimización de costos de mantenimiento (WHO, 2022).

Si se confirman contaminantes geogénicos como arsénico, la ruta recomendada es la confirmación analítica, definición de la forma química y selección de tecnologías con desempeño probado (adsorción específica, coagulación/filtración, ósmosis inversa), acompañadas de control de disposición de residuos y comunicación de riesgo. En acuíferos, además, es clave reforzar la protección de la fuente para evitar que nuevas actividades movilicen contaminantes (Schmoll et al., 2006).

La **Tabla 3.3.** presenta una síntesis que relaciona los principales contaminantes o condiciones de calidad típicos del agua subterránea con los procesos unitarios y sistemas de tratamiento más utilizados para controlarlos.

**Tabla 3.3.** Síntesis del proceso de selección de sistemas de tratamiento de aguas subterráneas. Fuente: elaboración propia, información tomada de Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda (WHO, 2022).

Problema dominante	Sistema de tratamiento recomendado	Claves de operación y mantenimiento
Fe / Mn	Aireación/oxidación → filtración → desinfección.	Control de pH, pérdida de carga, retrolavado; manejo de lodos/precipitados.
Dureza	Intercambio iónico u alternativa equivalente.	Regeneración y manejo de salmueras; control de estabilidad.
Nitratos	Prevención + mezcla o intercambio iónico/membranas.	Monitoreo; manejo de concentrados/salmueras.
Arsénico	Oxidación (si aplica) → adsorción/coagulación-filtración o membranas.	Control de pH; recambio de medio; gestión de residuos.
Salinidad	Gestión del bombeo + mezcla; si no hay alternativa: desalación.	Energía, rechazo salino; seguimiento de conductividad.
Riesgo microbiológico	Protección sanitaria + cloración con tanque de contacto.	Residual en red; inspección sanitaria y registros.

Asimismo, en la **Tabla 3.3.** se muestra información general que permite pasar del diagnóstico del agua cruda a la selección del sistema (combinación de procesos) y resalta, para cada alternativa, las condiciones de aplicación y los puntos críticos de operación, con el fin de priorizar opciones técnicamente viables y sostenibles en acueductos rurales.

### **3.3.3. Bombeos artesanales: diseño sanitario mínimo, saneamiento y mantenimiento comunitario**

En los sistemas de abastecimiento rural, los bombeos artesanales pueden entenderse como soluciones de extracción de agua subterránea que operan sin conexión a red eléctrica o con energía muy limitada, y que se apoyan en tecnologías de baja complejidad y alta apropiabilidad social, como por ejemplo, aljibes excavados a mano con extracción segura, pozos excavados o perforado de pequeño diámetro con bombas manuales de pistón, bombas de succión/impulsión, bombas de mecate y variantes promovidas como alternativas para llevar el agua desde el acuífero hasta un punto de distribución o uso doméstico. Esta perspectiva resulta relevante porque, en ausencia de una planta de tratamiento convencional, el sistema de suministro se sostiene sobre tres pilares: (i) una captación protegida, (ii) un mecanismo de extracción que mantenga continuidad de servicio y (iii) un conjunto mínimo de barreras sanitarias en el punto de agua para reducir la exposición a contaminantes (MAVDT, 2010b; MSPS, 2013; WHO, 2024).

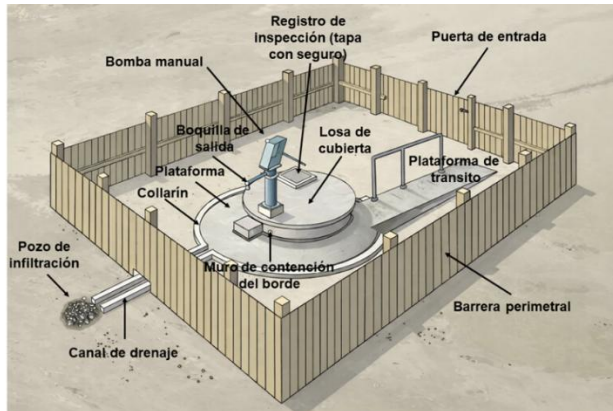
Su uso es particularmente frecuente en zonas con ruralidad dispersa, asentamientos periurbanos, veredas con baja densidad y limitaciones de infraestructura, donde la extensión de redes convencionales o la operación continua de plantas de tratamiento de agua resulta limitada por costos, logística de energía, accesibilidad o gobernanza, repuestos,

asistencia técnica y condiciona la viabilidad de sistemas más complejos; en estos escenarios, la selección del tipo de bombeo depende de la profundidad al nivel freático, la productividad del acuífero, la estacionalidad climática, la demanda del usuario y la capacidad comunitaria para operar y mantener la obra. En el Caribe colombiano, donde la variabilidad hidrológica y los periodos secos prolongados presionan las fuentes superficiales, estas soluciones suelen funcionar como abastecimiento principal o de respaldo, y su pertinencia técnica se define, ante todo, por la posibilidad de proteger el punto de extracción y sostener rutinas de mantenimiento local (MSPS, 2014).

En el departamento de Córdoba, la evidencia administrativa de proyectos municipales orientados al “mantenimiento y organización de microacueductos” en corregimientos y veredas muestra que el desafío cotidiano no es solo construir infraestructura, sino asegurar rutinas de operación y mantenimiento de sistemas locales, mucho de ellos apoyados en captaciones subterráneas y equipos de bombeo, para sostener el servicio en escenarios de variabilidad climática y restricciones de abastecimiento superficial (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2017).

Cuando el abastecimiento de agua se realiza mediante bombeos artesanales, como pozos someros, aljibes o bombas manuales, el proceso de tratamiento se desplaza hacia la mitigación de riesgos en la fuente y su entorno inmediato, es decir, el diseño sanitario mínimo se concreta como una cadena de barreras en el punto de extracción, que suele depender aún más de la protección física y de las prácticas operativas, porque pequeños errores de infraestructura (encharcamientos en la plataforma, grietas, escorrentías mal dirigidas, drenajes deficientes) pueden convertir el cabezal del pozo en un punto de entrada de contaminación. En consecuencia, los manuales técnicos

de instalación y mantenimiento de bombas manuales enfatizan la necesidad de plataformas de concreto o losa con pendiente, canaleta y drenaje hacia zanjas de evacuación y estructuras de infiltración para evacuar el agua derramada, sello sanitario (grouting) alrededor del brocal/encamisado, control de la escorrentía superficial y el respeto de distancias mínimas frente a focos de polución (control de animales, residuos, restricción de lavado y disposición de aguas grises en el punto de captación); de forma complementaria, la seguridad sanitaria se refuerza con almacenamiento seguro en el hogar y prácticas operativas coherentes (ver **Figura 3.4.**) (SKAT Foundation, 2007; WHO, 2024; World Bank, 1987; Skinner, 2012).



**Figura 3.4.** Condiciones sanitarias de un pozo común con bomba manual. Fuente: adaptado de Sanitary inspection packages (WHO, 2024).

Las listas de verificación de inspección sanitaria para pozos con bomba manual incorporan explícitamente factores como saneamiento en cotas superiores, presencia de contaminantes dentro de radios de 15 a 30 metros y puntos de entrada no protegidos al acuífero dentro de 100 metros, precisamente porque el acuífero puede transportar

contaminantes hacia el pozo aun cuando el agua tenga apariencia “clara” (SKAT Foundation, 2007; WHO, 2024; World Bank, 1987; Skinner, 2012).

Cuando la calidad del agua en el punto de extracción no puede asegurarse de manera consistente con protección sanitaria y operación comunitaria (por ejemplo, por contaminación microbiológica recurrente), el control se apoya de manera complementaria en la desinfección en el hogar (cloración o ebullición) y en vigilancia comunitaria, entendiendo que estas son medidas de transición, debido a que el objetivo técnico sigue siendo reducir el riesgo en la fuente y en el sistema, no desplazarlo al usuario final (Brikké, 2000).

La evolución de estos sistemas no se ha orientado a aumentar su complejidad, sino en optimizar su confiabilidad y facilitar su sostenimiento, como la estandarización de diseños, modularidad de componentes, compatibilidad de repuestos y mejoras de materiales en partes críticas (cilindros, válvulas, varillaje) para reducir corrosión y desgaste prematuro, de modo que la bomba permanezca operativa con intervenciones simples y previsibles. En paralelo, se ha promovido la diversificación de tecnologías manuales adaptadas (por ejemplo, bombas de mecate y variantes) que, cuando la profundidad y el caudal lo permiten, facilitan el ensamble local y la reparación con herramientas básicas. Bajo este esquema, el aporte técnico de estas soluciones es doble, debido a que (i) reducen la dependencia de cadenas de suministros externos para repuestos, y (ii) hacen posible estructurar esquemas de mantenimiento preventivo basados en piezas de fácil acceso. Sin embargo, su adopción debe quedar condicionada a un diagnóstico hidrogeológico y sanitario riguroso que evite seleccionar tecnologías que no estén acordes con las condiciones específicas del pozo y la demanda de la zona (Danert et al., 2024; MSPS, 2013; International Water and Sanitation Centre [IRC], 1995).

En Córdoba, la evidencia pública más clara de modernización en extracción subterránea para comunidades rurales se observa en la construcción y entrega de pozos profundos accionados con energía fotovoltaica por parte de la CVS, elevando a 42 el número de infraestructuras de este tipo entregadas en el departamento, como respuesta a déficits de abastecimiento en época de sequía; aunque estos sistemas no corresponden estrictamente al bombeo manual, son relevantes porque ilustran la trayectoria tecnológica local, cuando la profundidad o la demanda exceden el rango realista del bombeo artesanal, la innovación se expresa como transición hacia bombeo solar, manteniendo la exigencia de protección sanitaria del punto de captación y de rutinas de operación y mantenimiento (CVS, 2025).

### **3.4. Exploración de aguas subterráneas en la región**

Explorar el subsuelo en busca de agua es entendida como un proceso de validación técnica que busca reducir la incertidumbre antes de la explotación que perforar por intuición. Busca reunir información geológica, hidrogeológica, hidráulica y de calidad que permita determinar si un acuífero puede sostener un uso continuo sin afectar ecosistemas ni aumentar riesgos sanitarios como el conjunto de actividades de prospección, perforaciones de prueba y verificación hidrogeológica orientadas a identificar un recurso aprovechable sin comprometer su integridad, debe tratarse como un proceso regulado y trazable. Paralelamente, cuando la exploración se entiende como un conjunto de prospecciones, perforaciones de prueba y verificaciones hidrogeológicas orientadas a identificar un recurso sin afectar su integridad, debe gestionarse como un proceso formal, regulado, documentado y trazable, porque sus resultados se convierten en la base técnica para decidir usos posteriores. En Colombia, el esquema sectorial separa de forma explícita el permiso de prospección y exploración y diferencia esta fase de la concesión de uso, de forma que

la perforación exploratoria no equivale a un derecho automático de aprovechamiento, es decir no equivale a concesión y, por el contrario, exige soportes técnicos y reporte a la autoridad ambiental competente conforme a los procedimientos establecidos. Sin embargo, se reconoce que el titular del permiso de exploración adquiere prioridad para solicitar la concesión, conforme al marco normativo (Decreto 1076 de 2015) (ANLA, s. f.; [Presidencia de la República de Colombia, 2015](#)).

En términos operativos, la autoridad ambiental exige que el solicitante anticipe (i) el plan de trabajo y sistema de perforación, (ii) las características hidrogeológicas de la zona, (iii) la identificación de otros aprovechamientos existentes, y (iv) la identificación de la empresa perforadora, porque la exploración es un acto técnico que debe poder auditarse desde la radicación hasta el informe final. La misma regulación enfatiza la exploración como un paquete mínimo de productos verificable; al término del permiso, se establece la entrega de un informe por perforación con ubicación del pozo (Coordenadas y referencias cartográficas), descripción de la perforación, método y profundidad, perfil estratigráfico, niveles estáticos, parámetros hidráulicos calculados y calidad del agua con análisis físico-químico y bacteriológico. Además, especifica que la prueba de bombeo y la determinación de parámetros deben estar bajo supervisión de la autoridad ambiental competente. En consecuencia, la exploración bien realizada obliga a documentar desde el sitio y diseño donde se encuentra el pozo, hasta el desarrollo, la prueba y el muestreo, porque ese expediente se convierte en la base técnica para decidir concesión, caudal sostenible y medidas de manejo ([ANLA, s. f.; IDEAM, 2013; MVCT, 2022b](#)).

En el trámite de prospección y exploración/perforación de aguas subterráneas, la claridad del procedimiento y de sus anexos define en buena medida la oportunidad del acto administrativo y la calidad del

control posterior. La **Figura 3.5.** organiza el proceso en seis pasos encadenados: **(1)** preparación y verificación del predio y de la autoridad competente, en el cual se fija el marco espacial (ubicación y condiciones del predio) y reduce incertidumbre sobre interferencias sanitarias; **(2)** radicación formal del Formato Único Nacional de Solicitud (FUN) de permiso de prospección y exploración de aguas subterráneas y soportes jurídicos del solicitante; **(3)** anexos técnicos del proyecto de perforación; en estos dos pasos se consolidan la trazabilidad jurídica y técnica necesaria para evaluar viabilidad; **(4)** ciclo de revisión y requerimientos; en este paso se concentra la interacción con la autoridad y define la finalización del expediente **(5)** otorgamiento del permiso con condiciones y obligaciones; y **(6)** ejecución de la exploración y entrega de resultados; estos últimos pasos trasladan los compromisos a la obra, exigiendo registros, pruebas e informe final que sustenten decisiones posteriores, como la eventual solicitud de concesión de aguas subterráneas. Esta secuencia permite leer la exploración como un proceso de gestión del riesgo, donde cada paso exige evidencia documental específica y verificable, donde las omisiones en etapas temprana suelen traducirse en procesos y demoras.

Para evitar que la exploración de aguas subterráneas se convierta en una suma de pozos aislados sin gobernanza, la información debe quedar integrada en instrumentos oficiales que permitan comparar presión de uso, soportar decisiones de planificación y priorizar monitoreo. En Colombia, el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) se concibe como un instrumento de consulta y articulación de variables de oferta, demanda y calidad, e incluye explícitamente el componente de identificación de usuarios y captaciones superficiales y subterráneas, lo que habilita análisis espaciales por cuenca o entidad territorial y, sobre todo, auditoría de

tendencias cuando se cuenta con cortes de datos fechados (MADS 2014b).



**Figura 3.5.** Pasos y documentos para solicitar permiso de prospección y explotación/perforación de aguas subterráneas en Colombia. Fuente: Elaboración propia, información tomada de Permiso de prospección y exploración de aguas subterráneas (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA], 2020b); Instructivo de Radicación en la Ventanilla Integral de Tramites Ambientales (VITAL) (ANLA, 2020c); Requisitos permiso de prospección y exploración de aguas subterráneas (CVS, 2022).

Con base a datos estadísticos, en el corte SIRH 05-12-2024 y usando como denominador la población proyectada DANE 2024, el Caribe muestra diferencias marcadas en densidad de puntos registrados. Por ejemplo, el Archipiélago de San Andrés registra una relación alta de captaciones por 10.000 habitantes (efecto esperable por su tamaño

poblacional), mientras que La Guajira combina un número elevado de captaciones con un indicador departamental alto (ver **Tabla 3.4.**); esta lectura, sin embargo, debe interpretarse como densidad de puntos registrados y no como una “demanda efectiva” por sí sola, porque la presión real requiere complementar con destino de uso, caudales, estacionalidad, control de abatimientos y evidencia de monitoreo piezométrico (DANE, 2025; IDEAM, 2025).

**Tabla 3.4.** Indicadores comparativos de captaciones y caudal concesionado de agua subterránea en la región Caribe. Fuente: elaboración propia, datos tomados de las Proyecciones de Población y Estudios Demográficos (PPED) serie municipal de población por área, periodo 2018-2042, año 2024, con base en el Censo Nacional de Población y Vivienda [CNPV] 2018 (DANE, 2025); y datos base de registros del SIRH por autoridad ambiental, jurisdicción CVS, período de corte 05-12-2024 (IDEAM, 2025).

Departamento	Número de captaciones	Caudal concesionado (L/s)	Captaciones (L/s) / 10.000 Habitantes	Caudal concesionado (L/s) / 1.000 habitantes
La Guajira	829	24.699,31	7,911	23,571
Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	609	933,16	96,285	14,754
Magdalena	468	14.753,45	3,066	9,666
Atlántico	287	1.933,91	1,012	0,682
Sucre	237	2.235,00	2,324	2,192
Córdoba	190	613,74	0,965	0,312
Cesar	183	13.678,80	1,270	9,496
Bolívar	43	2.993,28	0,193	1,344

**Nota:** Los indicadores por habitante fueron calculados con base en la proyección total proyectada DANE 2024, aunque dicha variable no se presenta en la tabla para efectos de síntesis. Captaciones por 10.000 habitantes = (Número de captaciones/población total) \*10.000; Caudal concesionado por 1.000 habitantes = (Caudal concesionado/población total) \* 1.000.

En el departamento de Córdoba, la lectura conjunta de los registros de concesión de agua subterránea reportados al SIRH y de la cartografía hidrogeológica disponible permite identificar patrones espaciales sobre los sistemas acuíferos; y al cruzarla con las proyecciones poblacionales del DANE, año 2024 permite pasar de generalidades a una agenda concreta de exploración y control. La **Tabla 3.5.** construida a partir de los registros del periodo de corte 05-12-2024 del SIRH, muestra 20 municipios con captaciones subterráneas registradas (190 captaciones en total), con concentración por conteo en Montería y Sahagún (48 y 28 respectivamente), y con valores de presión relativa más altos en municipios de menor tamaño poblacional como Cotorra y La Apartada. A partir de la suma del caudal concesionado por municipio, Sahagún, Buenavista, Chinú, Montería, Ciénaga de Oro y Montelíbano concentran los valores más elevados (entre 45 y más de 100 L/s), asociados principalmente a las unidades Betulia-Sincelejo, depósitos aluviales del Sinú y del San Jorge. Este patrón espacial de concentración del caudal concesionado se aprecia de forma sintética en la **Figura 3.6.**

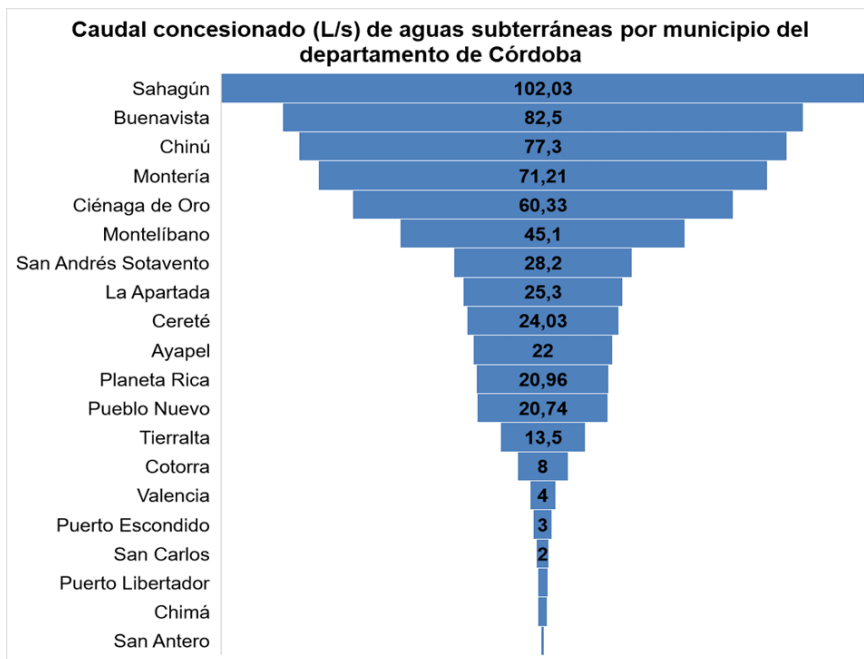
En contraste, municipios como San Antero, Chimá, Puerto Libertador, San Carlos, Puerto Escondido y Valencia presentan caudales concesionados mucho menores, lo que se traduce en una presión relativa baja, aun cuando puedan existir condiciones de vulnerabilidad hidrogeológica o usos locales intensivos no formalizados. Solo en captaciones subterráneas en el departamento de Córdoba fueron reportados 613,14 L/s ( $\approx 19,3$  millones  $m^3/año$ ), suponiendo continuidad 24/7 (corresponden a caudal concesionado, no necesariamente a extracción real). En términos operativos, este tipo de evidencias es útil para priorizar (i) verificación de inventarios, (ii) normalización de información constructiva de pozos, (iii) campañas de niveles y calidad y (iv) evaluación de riesgo de sobreexplotación o deterioro químico, integrándose a instrumentos de manejo de

acuíferos cuando existan o promoviendo su formulación donde haga falta (DANE, 2025; IDEAM, 2025).

**Tabla 3.5.** Municipios con captaciones subterráneas registradas e indicadores sintéticos de presión en el departamento de Córdoba. Fuente: elaboración propia, datos tomados de las Proyecciones de Población y Estudios Demográficos (PPED) serie municipal de población por área, periodo 2018-2042, año 2024, con base en el Censo Nacional de Población y Vivienda [CNPV] 2018 (DANE, 2025); datos base de registros del SIRH por autoridad ambiental, jurisdicción CVS, período de corte 05-12-2024 (IDEAM, 2025).

Municipio	Número de captaciones	Caudal concesionado (L/s)	Captaciones / 10.000 habitantes
Montería	48	71,21	0,852
Sahagún	28	102,03	2,361
Montelíbano	16	45,1	1,829
Chinú	13	77,3	2,497
Planeta Rica	13	20,96	1,956
Ciénaga de Oro	12	60,33	1,917
Cereté	11	24,03	0,921
Cotorra	10	8	4,687
Pueblo Nuevo	7	20,74	1,843
Buenavista	6	82,5	2,691
Tierralta	6	13,5	0,597
La Apartada	5	25,3	3,068
S. A. de Sotavento	3	28,2	0,574
Ayapel	3	22	0,601
Valencia	2	4	0,545
Puerto Escondido	2	3	0,811
Puerto Libertador	2	1,54	0,438
San Carlos	1	2	0,348
Chimá	1	1,5	0,515
San Antero	1	0,5	0,258

**Nota:** El indicador de captaciones por 10.000 habitantes fue estimado con base en la población total municipal (cabecera + rural), aunque esa desagregación no se presenta en la tabla para facilitar su lectura comparativa.



**Figura 3.6.** Caudal concesionado de aguas subterráneas por municipio del departamento de Córdoba. Fuente: elaboración propia con base en datos de registros del SIRH por autoridad ambiental, jurisdicción CVS, período de corte 05-12-2024 (IDEAM, 2025).

En síntesis, los indicadores de “presión” construidos al cruzar registros de captación del SIRH con las proyecciones poblacionales del DANE no sustituyen la investigación hidrogeológica en terreno, ni pretenden diagnosticar por sí solos el estado del acuífero, pero optimiza la labor técnica al señalar las zonas prioritarias. Este cruce de información permite identificar municipios con alta densidad de captaciones o con mayores caudales relativos reportados, orientando el trabajo de campo hacia la verificación de interferencias entre

captaciones, condición sanitaria y constructiva del pozo, comportamiento de niveles/abatimientos, señales de salinización en ámbitos costeros, y trazabilidad analítica de la calidad. De este modo, se pasa de una gestión reactiva a una exploración con propósito, alineada con la planificación, los permisos, el monitoreo y las medidas de manejo, que es el enfoque que promueven los instrumentos nacionales (PNASUB) para una gestión transparente del recurso subterráneo mediante información estandarizada y articulación institucional (MADS, 2014a, 2014b; IDEAM, 2025; DANE, 2025).

### **3.5. Concesiones para el uso de aguas subterráneas y aspectos ambientales en torno a su uso**

En Colombia, la concesión de aguas subterráneas es el instrumento jurídico que habilita la captación y, al mismo tiempo, fija límites y obligaciones para que el aprovechamiento sea compatible con la disponibilidad del acuífero, la función ecológica del recurso y los usos existentes; es decir, define quién usa, para qué, cuánto, dónde y bajo qué condiciones, de manera que el bombeo no dependa de decisiones aisladas, sino de reglas verificables y exigibles por la autoridad ambiental. En la práctica, la concesión no se reduce a “un permiso para bombear”, define el caudal autorizado, el uso (abastecimiento, riego, industrial u otro), el punto de extracción y las condiciones de seguimiento y manejo (medición, registros, monitoreo, medidas de protección, y causales de ajuste o revocatoria) que permiten controlar el riesgo ambiental (abatimientos de niveles, interferencias, intrusión salina, contaminación) y sanitario asociado a la extracción (Presidencia de la República de Colombia, 1978; Presidencia de la República de Colombia, 2015; Congreso de Colombia, 1993).

Un punto que suele confundirse en campo es que explorar no equivale a tener derecho de uso. El marco sectorial distingue la fase de

prospección y exploración (orientada a comprobar factibilidad) de la fase de concesión (orientada a autorizar el aprovechamiento). La propia reglamentación establece que los permisos de exploración no confieren concesión; esto obliga a que la perforación exploratoria sea técnicamente sustentada y reportada, y que el paso a la extracción regular quede condicionado a la evaluación y acto administrativo correspondiente. Este corte institucional reduce decisiones reactivas y empuja a que el proyecto pase por filtros mínimos de evidencia y control. Respecto a la competencia administrativa, la solicitud de concesión debe ser tramitada ante la autoridad ambiental con jurisdicción en el territorio (por ejemplo, una Corporación Autónoma Regional), y el expediente debe presentarse con trazabilidad técnica mediante formatos estandarizados y anexos verificables. Este requisito busca evitar que la existencia física de un pozo profundo se confunda con un derecho adquirido, y obliga a precisar el uso propuesto ([ANLA, s. f.](#); [Presidencia de la República de Colombia, 2015](#)).

Desde la óptica ambiental, una concesión se sostiene en evidencia hidrogeológica mínima que permita justificar el caudal solicitado y diseñar el seguimiento: descripción de la obra (y su terminación sanitaria), delimitación del entorno y del área de influencia, pruebas de bombeo, estimación de parámetros, evaluación de interferencia con captaciones vecinas, y una línea base de calidad que oriente la gestión del riesgo (por ejemplo, si el desafío principal es sanitario, químico u operativo). Este estándar no busca sofisticación innecesaria, sino reproducibilidad, que la autoridad y el prestador puedan verificar por qué se autorizó un caudal, cómo se controlará y que señales activan medidas correctivas antes de que el acuífero se deteriore ([Presidencia de la República de Colombia, 2015](#); [Corporación Autónoma Regional de Boyacá \[CORPOBOYACÁ\], 2025](#)).

Una vez autorizada, la concesión se articula con dos ejes de gestión que garantizan la sostenibilidad operativa: (i) el Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua (PUEAA), cuyo contenido mínimo obliga a definir la línea base de oferta y demanda, evaluar los riesgos en estiaje y variabilidad climática, describir medición de caudal y balance del sistema (incluyendo captación, conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución), y fijar metas e indicadores; y (ii) la Tasa por Utilización de Agua (TUA), que se concibe como un cobro asociado al volumen real captado dentro de los límites de la concesión, y su finalidad es doble. El esquema económico de este eje de gestión reconoce que el agua es un bien público cuyo uso genera costos de administración y control del recurso público, y fomentar el uso eficiente, especialmente cuando aumentan las presiones por demanda o escasez estacional. Bajo este esquema, la medición precisa y el reporte sistemático se vuelven obligatorios; sin una cuantificación confiable, se debilita tanto el monitoreo ambiental como la efectividad de la política económica, el cual desincentiva usos ineficientes y financia acciones de protección y recuperación del recurso hídrico, sin sustituir el control y la sanción cuando hay uso sin concesión ([MADS, 2018](#); [Presidencia de la República de Colombia, 2004](#)).

El incumplimiento de los términos de la concesión o la explotación ilegal del recurso puede activar medidas preventivas y sancionatorias ambientales, bajo un marco normativo recientemente fortalecido. En aguas subterráneas, este rigor es aún más relevante porque los impactos pueden acumularse sin señal temprana evidente (descensos graduales del nivel, interferencias entre pozos o deterioro paulatino de calidad), de modo que la vigilancia, los reportes y las visitas de control por parte de las autoridades ambientales, no son trámites opcionales, sino parte de la gestión ambiental del aprovechamiento necesario para garantizar la sostenibilidad del acuífero ([Congreso de Colombia, 2009](#); [Congreso de Colombia, 2024](#)).

Para el departamento de Córdoba, el sentido práctico de la concesión se refuerza con la evidencia territorial. El SIRH permite identificar municipios con captaciones y caudales registrados, y al cruzar esos registros con series oficiales de población municipal se derivan indicadores de presión relativa (por ejemplo, captaciones por 10.000 habitantes o caudal concesionados por 1.000 habitantes) que ayudan a priorizar seguimiento, condiciones de medición, verificación de abatimientos y acciones de protección en áreas de recarga. Estos indicadores no sustituyen el estudio hidrogeológico, pero mejoran la eficiencia de la gestión porque orientan dónde concentrar verificación en campo y donde imponer condiciones más estrictas de monitoreo y reporte (MADS, 2014a; MADS,2014b; DANE, 2025).

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Mindtech s.a.s., la Universidad del Valle, la Universidad de Córdoba, Polymeiker s.a.s., MT-Solsosting s.a.s., Instituto de Ciencia y Tecnología Analítica Golden-Hammer s.a.s. por los fondos suministrados en el marco del proyecto MT-012025 (C.I. 71408 Univalle) - Convenio MT-AFICAT-202501. Asimismo, agradecen al Departamento Nacional de Planeación de Colombia a través del Sistema General de Regalías por los recursos suministrados en el marco del proyecto BPIN 2020000100261.

## Acrónimos

**ANLA:** Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.  
**CAR:** Corporaciones Autónomas Regionales.  
**CNPV:** Censo Nacional de Población y Vivienda.  
**CONPES:** Consejo Nacional de Política Económica y Social.  
**CVS:** Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge.  
**DANE:** Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

- ENA:** Estudio Nacional de Agua.  
**IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.  
**IGRAC:** International Groundwater Resources Assessment Centre.  
**IRCA:** Índice de Riesgo de la Calidad del Agua.  
**MADS:** Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.  
**MAVDT:** Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.  
**OMS:** Organización Mundial de la Salud.  
**PAI:** Plan de Acción Institucional.  
**PDA:** Plan Departamental de Agua y Saneamiento.  
**PGAR:** Plan de Gestión Ambiental Regional.  
**PHN:** Plan Hídrico Nacional.  
**PMAA:** Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos.  
**PNA:** Política Nacional del Agua.  
**PNASUB:** Programa Nacional de Aguas Subterráneas.  
**PNGIRH:** Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.  
**POMCA:** Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas.  
**POT:** Planes de Ordenamiento Territorial.  
**PPED:** Proyecciones de Población y Estudios Demográficos.  
**PSA:** Plan de Seguridad del Agua.  
**PUEAA:** Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua.  
**RNASUB:** Red Nacional de Monitoreo Básico de Aguas Subterráneas.  
**SIRH:** Sistema de Información del Recurso Hídrico.  
**TUA:** Tasa por Utilización de Agua.  
**WWF:** World Wildlife Fund.

## Referencias

- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2020a). *Reporte de Alertas Subzonas Hidrográficas: Río Sinú y Alto San Jorge (SZH-RSASJ)*.  
<https://www.anla.gov.co/documentos/biblioteca/27-01-2021-anla-rash-rio-sinu-alto-san-jorge.pdf>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2020b). *Permiso de prospección y exploración de aguas subterráneas: Guía para el usuario del permiso de Exploración y Prospección de aguas subterráneas*.  
[https://www.anla.gov.co/01\\_anla/allcategories-es-es/253-tramites-y-](https://www.anla.gov.co/01_anla/allcategories-es-es/253-tramites-y-)

servicios/tramites/permisos-y-autorizaciones/prospeccion-y-  
explotacion-aguas-subterrneas

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. **(2020c)**. Mecanismo de radicación dispuesto por la ANLA para realizar una solicitud de Permiso de Prospección y Exploración de Aguas Subterráneas mediante VITAL. Subdirección de Instrumentos Permisos y Trámites Ambientales. *Instructivo VITAL: Exploración de aguas subterráneas*. [https://www.anla.gov.co/01\\_anla/documentos/permisos\\_y\\_autorizaciones/instructivo\\_vital\\_exploracion\\_aguas\\_subterrneas.pdf](https://www.anla.gov.co/01_anla/documentos/permisos_y_autorizaciones/instructivo_vital_exploracion_aguas_subterrneas.pdf)

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. **(s. f.)**. *Permiso de Concesión de Aguas Subterráneas: Guía para la solicitud de Concesión de Aguas Subterráneas*. [https://www.anla.gov.co/01\\_anla/permiso-y-autorizacion-concesion-aguas-subterrneas?](https://www.anla.gov.co/01_anla/permiso-y-autorizacion-concesion-aguas-subterrneas?)

Brikké, F. **(2000)**. *Operation and Maintenance of rural water supply and sanitation systems: a training package for managers and planners*. IRC International Water and Sanitation and World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, p. 292. <https://www.fsnnetwork.org/sites/default/files/2022-06/WHO-SDE-WSH-00.pdf>

Congreso de Colombia. **(1993)**. *Ley 99 de 1993: Ley General Ambiental de Colombia (crea el Ministerio del Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental [SINA])*. Gestor Normativo - Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Congreso de Colombia. **(1997a)**. *Ley 373 de 1997: Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA)*. Gestor Normativo - Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=342>

Congreso de Colombia. **(1997b)**. *Ley 388 de 1997: Marco legal de Ordenamiento Territorial (Planes de Ordenamiento Territorial [POT])*.

Gestor Normativo – Función Pública.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>

Congreso de Colombia. **(2009)**. *Ley 1333 de 2009: Procedimiento sancionatorio ambiental en Colombia*. Gestor Normativo – Función Pública.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36879>

Congreso de Colombia. **(2024)**. *Ley 2387 de 2024: Modifica el procedimiento sancionatorio ambiental (Ley 1333 de 2009)*. Gestor Normativo – Función Pública.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=246696>

Corporación Autónoma Regional de Boyacá. **(2025)**. *Guía para la concesión de aguas subterráneas: ¿Cómo solicitar una concesión de aguas subterráneas?* <https://www.corpoboyaca.gov.co/ventanilla-atencion/concesion-de-aguas-subterraneas/>

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. **(2016)**. *Plan de Acción Institucional 2016-2019*. [https://cvs.gov.co/wp-admin/admin-ajax.php?juwpfisadmin=false&action=wpfd&task=file.download&wpfd\\_category\\_id=947&wpfd\\_file\\_id=9344&token=&preview=1](https://cvs.gov.co/wp-admin/admin-ajax.php?juwpfisadmin=false&action=wpfd&task=file.download&wpfd_category_id=947&wpfd_file_id=9344&token=&preview=1)

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. **(2020)**. *Plan de Gestión Ambiental Regional CVS 2020 - 2031*. <https://cvs.gov.co/planes/>

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. **(2022)**. *Requisitos permiso de prospección y exploración de aguas subterráneas*. En: *Requisitos para Permisos Ambientales*. Subdirección de Gestión Ambiental. <https://cvs.gov.co/wp-admin/admin->

[ajax.php?juwppfisadmin=false&action=wpfd&task=file.download&wpfd\\_category\\_id=777&wpfd\\_file\\_id=16187&token=&preview=1](https://ajax.php?juwppfisadmin=false&action=wpfd&task=file.download&wpfd_category_id=777&wpfd_file_id=16187&token=&preview=1)

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. (2024). *Plan de Acción Cuatrienal 2024 – 2027 “Córdoba Territorio Sostenible”*.  
[https://cvs.gov.co/wp-admin/admin-ajax.php?juwppfisadmin=false&action=wpfd&task=file.download&wpfd\\_category\\_id=947&wpfd\\_file\\_id=24571&token=&preview=1](https://cvs.gov.co/wp-admin/admin-ajax.php?juwppfisadmin=false&action=wpfd&task=file.download&wpfd_category_id=947&wpfd_file_id=24571&token=&preview=1)

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. (2025). CVS entrega dos nuevos pozos profundos. *Noticias CVS*.  
<https://cvs.gov.co/cvs-entrega-dos-nuevos-pozos-profundos/>

Corporación Autónoma Regional del Tolima. (2024). Las aguas subterráneas son una alternativa crucial de adaptación al cambio climático. *Noticias CORTOLIMA*. <https://cortolima.gov.co/cop16-noticias/4221-las-aguas-subterranas-son-una-alternativa-crucial-de-adaptacion-al-cambio-climatico>

Danert, K., Bisoborwa, P. Kyeyune, E., Mutiibwa, R., & Nakayima, L. (2024). *Stop the Rot: Documentation of Experiences and Lessons Learnt in the prevention of Rapid Handpump Corrosion in Uganda*. Ask for Water GmbH, Ministry of Water and Environment, Skat Foundation and RWSN, St Gallen, Switzerland. DOI: 10.13140/RG.2.2.13722.66243

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2025). *Proyecciones y retroproyecciones de población municipal para el periodo 1985-2017 y 2018-2042 con base en el CNPV 2018: Serie municipal de población por área, para el periodo 2018-2042*.  
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

Departamento Nacional de Planeación. (2017). *Mantenimiento y organización de los microacueductos de los corregimientos de Puerto Santo, El Poblado, Varal y las veredas Las Guamas, Loma Roja, La Baqueta y Apartada de Betulia en el municipio de Pueblo Nuevo Departamento de*

*Córdoba (Proyecto MGA201723570M000057).* [https://pueblonuevo-cordoba.gov.co/Proyectos/Galeria\\_Proyectos/mga201723570M000057.pdf](https://pueblonuevo-cordoba.gov.co/Proyectos/Galeria_Proyectos/mga201723570M000057.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2013).** *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua.* Bogotá, D.C., p. 276.  
[https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/lineamientos\\_conceptuales\\_y\\_metodologicos\\_para\\_la\\_evaluacion\\_regional\\_del\\_agua.pdf?](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/lineamientos_conceptuales_y_metodologicos_para_la_evaluacion_regional_del_agua.pdf?)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2019).** *Estudio Nacional del Agua 2018.* Bogotá, p. 452.  
[https://www.andi.com.co/uploads/ena\\_2018-comprimido.pdf](https://www.andi.com.co/uploads/ena_2018-comprimido.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2020).** Estado de las aguas subterráneas en Colombia (Webinar ANDI: Aguas subterráneas y territorios resilientes) [Presentación]. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia.  
[https://www.andi.com.co/Uploads/PP\\_IDEAM\\_Estado%20de%20las%20aguas%20subterr%C3%A1neas%20en%20Colombiajulio23-2020.pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/PP_IDEAM_Estado%20de%20las%20aguas%20subterr%C3%A1neas%20en%20Colombiajulio23-2020.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2023a).** *Estudio Nacional del Agua 2022.* 464 p.  
[https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-27/estudio\\_nacional\\_del\\_agua\\_2022.pdf](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-27/estudio_nacional_del_agua_2022.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. **(2023b).** Sistemas acuíferos del área hidrográfica Caribe. En: *Anexo 7: Aguas subterráneas.* Estudio Nacional del Agua 2022.  
[https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-09-05/anexo\\_7\\_aguas\\_subterraneas\\_ena\\_2022\\_1.pdf](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-09-05/anexo_7_aguas_subterraneas_ena_2022_1.pdf)

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2024). *Nivel piezométrico*. Glosario. <https://ideam.gov.co/atencion-y-servicios-a-la-ciudadania/glosario/nivel-piezometrico>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2025). *Parte 1 y 2 – Sabana SIRH 5-12-2024. Sabanas de datos del RURH*. Boletines técnicos IDEAM. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/boletines/Sabanas-de-datos-del-RURH>
- International Groundwater Resources Assessment Centre. (s. f.). *Colombia: Perfil del país sobre aguas subterráneas*. <https://unigrac.org/es/data/country-profiles/colombia/>
- International Water and Sanitation Centre. (1995). *Evaluación de la bomba Mecate: Presentación del Informe de Evaluación de la bomba Mecate en Nicaragua*. Centro de Referencia de Agua y Saneamiento (IRC), Centro Colaborador de la Organización Mundial de Salud (OMS). <https://www.ircwash.org/sites/default/files/232.2-14894.pdf>
- Lans Ceballos, E. (2015). *Contaminación de fuentes hídricas en el departamento de Córdoba, Colombia: Plaguicidas y metales pesados*. Universidad de Córdoba. 136 p. [https://www.researchgate.net/profile/Edineldo-Lans-Ceballos/publication/316257067\\_Contaminacion\\_de\\_fuentes\\_h%27idricas\\_en\\_el\\_departamento\\_de\\_Cordoba-Colombia\\_Plaguicidas\\_y\\_Metales\\_Pesados/links/5901f1afaca2725bd721c31f/Contaminacion-de-fuentes-hidricas-en-el-departamento-de-Cordoba-Colombia-Plaguicidas-y-Metales-Pesados.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Edineldo-Lans-Ceballos/publication/316257067_Contaminacion_de_fuentes_h%27idricas_en_el_departamento_de_Cordoba-Colombia_Plaguicidas_y_Metales_Pesados/links/5901f1afaca2725bd721c31f/Contaminacion-de-fuentes-hidricas-en-el-departamento-de-Cordoba-Colombia-Plaguicidas-y-Metales-Pesados.pdf)
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010a). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C.: Colombia, 124 p. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. **(2010b)**. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: Título J. Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural.* Bogotá, D.C. Colombia, p. 284.  
[https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/100811\\_titulo\\_j\\_ras-.pdf](https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/100811_titulo_j_ras-.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **(2010)**. *Plan Hídrico Nacional, Fase I (2012 - 2014)*. [https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/2.-Anexo-2-PHN-Fase-I-Dic\\_de\\_2010.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/2.-Anexo-2-PHN-Fase-I-Dic_de_2010.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **(2014a)**. *Programa Nacional de Aguas Subterráneas - PNASUB*. Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Anexo-37.-Programa-Nacional-de-Aguas-Subterra%CC%81neas.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **(2014b)**. *Sistema de Información de Recurso Hídrico (SIRH)*. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/gobernanza-del-agua/investigacion-y-gestion-de-la-informacion-de-recurso-hidrico/sistema-de-informacion-del-recurso-hidrico-sirh>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **(2014c)**. *Guía metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA)*. <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/guia-metodologica-para-la-formulacion-de-planos-de-manejo-ambiental-de-acuiferos-pmaa/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **(2018)**. *Resolución 1257 de 2018, por el cual se establece la estructura y contenido del Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA) y su versión simplificada.*

República de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-1257-de-2018.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **(s. f.)**. *Política Nacional del Agua, ¿Somos agua, cuidamos la vida y la biodiversidad!: ¿Por qué actualizar la Política del Agua?*  
<https://www.minambiente.gov.co/politica-nacional-del-agua/>

Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. **(2007)**. *Resolución 2115 de 2007: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*. <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>

Ministerio de Salud y Protección Social. **(2013)**. *Sistemas alternativos en temas relacionados con calidad del aire, abastecimiento de agua, saneamiento básico; y recomendaciones sobre el manejo seguro de sustancias químicas y tenencia responsable de animales*.  
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/V/S/PP/SA/sistema-alternativos-agua-saneamiento-responsable-animales.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social. **(2014)**. *Propuesta de identificación y difusión de tecnologías alternativas para agua potable y saneamiento (Producto No 1 – Contrato 50 de 2014)*.  
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/V/S/PP/SA/4sistemas-alternativos-agua-saneamiento-basico.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social. **(2022)**. *Elaboración Mapas de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Subdirección de Salud Ambiental.  
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/V/S/PP/SA/mapa-riesgo-calidad-agua-consumo-humano-salud-ambiental-2022.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. **(2017)**. *Resolución 0330 de 2017: Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)*.

<https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. **(2022a)**. *Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano INCA 2022*. Ministerio de Salud y Protección social, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Instituto Nacional de Salud, Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-nacional-calidad-del-agua-para-consumo-humano-2022.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. **(2022b)**. *Anexo 2: Documento compilatorio del RAS*. <https://www.minvivienda.gov.co/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras/anexo-2-documento-compilatorio>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. **(2023)**. *Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano INCA 2023*. Ministerio de Salud y Protección social, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Instituto Nacional de Salud, Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-inca-2023.pdf>

Narváez Álvarez, K. **(2023)**. *Práctica empresarial para el apoyo en el seguimiento a las concesiones de aguas subterráneas otorgadas por la Car- CVS en el alto y medio Sinú del departamento de Córdoba*. [Trabajo de grado, Universidad de Córdoba]. Repositorio Institucional Unicordoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/8377>

Pérez Rubio, J. L. **(2020)**. *Seguimiento Ambiental a las concesiones de aguas subterráneas otorgadas por la Corporación Autónoma Regional de los Valles de Sinú y del San Jorge - CVS, a los lavaderos de carros en la ciudad de Montería, Córdoba*. [Trabajo de grado, Universidad de Córdoba].

Repositorio Institucional Unicordoba.  
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/3050>

Presidencia de la República de Colombia. **(1974)**. *Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Gestor Normativo - Función Pública.*  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>

Presidencia de la República de Colombia. **(1978)**. *Decreto 1541 de 1978: Reglamenta aguas no marítimas. Gestor Normativo - Función Pública.*  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1250>

Presidencia de la República de Colombia. **(2004)**. *Decreto 155 de 2004: Reglamentación sobre tasa por utilización de aguas (TUA). Gestor Normativo - Función Pública.*  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=13545>

Presidencia de la República de Colombia. **(2007)**. *Decreto 1575 de 2007: Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Gestor Normativo - Función Pública.*  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>

Presidencia de la República de Colombia. **(2010)**. *Decreto 3930 de 2010: Reglamenta los usos del agua, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos de residuos líquidos. Gestor Normativo - Función Pública.*  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620>

Presidencia de la República de Colombia. **(2012)**. *Decreto 1640 de 2012: Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de cuencas y acuíferos, y se dictan otras*

*disposiciones. Gestor Normativo - Función Pública.*  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49987>

Presidencia de la República de Colombia. (2015). *Decreto 1076 de 2015: Decreto Único Reglamenteo del sector Ambiente.* Gestor Normativo - Función Pública.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Schmoll, O., Howard, G., Chilton, J., & Chorus, I. (2006). *Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources.* World Health Organization (WHO). IWA Publishing, p.689.  
<https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/2af1df8d-6454-4eae-ac26-6a090cfd715f/content>

SKAT Foundation. (2007). *Installation and Maintenance Manual for the Afridev Handpump.* SKAT – Rural Water Supply Network (RWSN).  
[https://www.pseau.org/outils/ouvrages/skat\\_afridev\\_installation\\_and\\_maintenance\\_manual\\_2007.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/skat_afridev_installation_and_maintenance_manual_2007.pdf)

Skinner, B. (2012). *Apron slabs for water points: an engineer's guide.* Water, Engineering and Development Centre (WEDC). Loughborough University.  
<https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/resources/booklets/G003-Apron-slabs-for-water-points-booklet.pdf>

Sorza Ríos, D. A., & Torres Socha, A. M. (2023). *Análisis de la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico con relación a la planificación y manejo del recurso hídrico subterráneo en Colombia.* [Trabajo de Especialización, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio UDistrital. <http://hdl.handle.net/11349/35342>

United Nations. (2022). *The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible.* UNESCO, Paris.  
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721>

Veolia Colombia. **(s. f.)**. *Gestión del Agua: Chinú*. Veolia Colombia – Sabana.  
<https://www.sabana.veolia.co/servicios/gestion-agua/gestion-agua>

World Bank. **(1987)**. *Community Water Supply: The Handpump Option - Rural Water Supply Handpumps Project*. The World Bank, Washington, D.C.  
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/299321468765272889/pdf/multi0page.pdf>

World Health Organization. **(2022)**. *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda*, 4th ed., 1st add. and 2nd add. World Health Organization, 614.  
<https://iris.who.int/handle/10665/352532>

World Health Organization. **(2023)**. *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers, second edition*. The International Water association. Geneva, p. 144. [https://iwa-website-assets.s3.eu-west-2.amazonaws.com/23\\_WHO\\_WSP\\_Manual2nd\\_Ed\\_A4hor\\_WR\\_5\\_add2232b85.pdf](https://iwa-website-assets.s3.eu-west-2.amazonaws.com/23_WHO_WSP_Manual2nd_Ed_A4hor_WR_5_add2232b85.pdf)

World Health Organization. **(2024)**. *Sanitary inspection packages - A supporting tool for the Guidelines for drinking-water quality: small water supplies*. Geneva, WHO. <https://wsportal.org/wp-content/uploads/2024/03/9789240089006-eng.pdf>

World Meteorological Organization. **(2022)**. World Water Day focuses on groundwater. *News World Meteorological Organization*.  
<https://wmo.int/media/news/world-water-day-focuses-groundwater#:~:text=Groundwater%20accounts%20for%2099%25%20of,%E2%80%9Cmaking%20the%20invisible%20visible.%E2%80%9D>

World Wildlife Fund Colombia. **(2021)**. Los acuíferos, el agua que “no vemos”. *WWF Colombia*. <https://www.wwf.org.co/?365850/Los-acuiferos-el-agua-que-no-vemos>

## Capítulo 4

# Aguas superficiales versus aguas subterráneas: Aspectos técnicos y económicos

Rafael A. Bolaño-Vásquez, Emiro J. Medellín-Fernández,  
Manuel D. Palencia-Bolaños, Víctor J. Palencia-Luna; Vanessa A. Ascanio

---

### Resumen

Esta investigación examina cómo la integración de las aguas superficiales y subterráneas constituye un pilar en el desarrollo sostenible y la garantía del derecho humano al agua. Mediante un análisis comparativo, se determinan las disparidades en su composición y comportamiento: mientras las fuentes superficiales exhiben una alta sensibilidad a las variaciones climáticas y una turbidez inestable, los acuíferos se consolidan como reservas estratégicas gracias a su equilibrio químico y térmico. El estudio profundiza en la transición técnica de la captación desde métodos manuales hasta perforaciones de alta precisión y define conceptos vitales como el caudal de producción óptimo para prevenir el agotamiento de los depósitos. Evaluando la eficiencia de los sistemas de abastecimiento, enfatizando que la continuidad y calidad del servicio dependen de la robustez de su infraestructura. El análisis aterriza en la realidad del departamento de Córdoba, donde actividades como la expansión agropecuaria, la minería ilegal y la pérdida de bosques de galería han degradado las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge, intensificando los procesos de sedimentación e inundaciones. Se concluye que asegurar el futuro hídrico regional exige una gestión que valore la protección del subsuelo.

**Palabras claves:** Distribución de agua subterránea, resiliencia hídrica, calidad del agua, abastecimiento sostenible, interacción agua superficial-agua subterránea.

**Citar como:** Bolaño-Vásquez, R.A.; Medellín-Fernández, E.J.; Palencia-Bolaños, M.D.; Palencia-Luna, V.J.; Ascanio, V.A. Aguas superficiales versus aguas subterráneas: Aspectos técnicos y económicos. En: García-Quintero, A.; Palencia, M.; Combatt, E.M.; Valle-Zapata, H.A. (Eds). MT Pallantia-Publisher, Cali - Colombia, 2026, 163-188. DOI: 10.34294/b.006.c4.2026.05

## **4.1. Introducción**

El presente capítulo se ha desarrollado con el objetivo de plasmar los aspectos fundamentales de las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Más que un recurso, el agua representa un derecho humano básico y el motor que permite un desarrollo sostenible, ya que actúa como un vínculo directo entre nuestra sociedad con la naturaleza. Cuando hay una buena gestión, los beneficios son notorios en la salud pública, la economía local y la protección del medio ambiente. Ya que, sin agua no hay bienestar para las comunidades.

Desde una perspectiva hidrológica, este recurso se distribuye en dos fuentes clave: las aguas superficiales que vemos en ríos o lagos, y las reservas subterráneas ocultas en el subsuelo. Estas últimas son especialmente críticas, ya que funcionan como un depósito estratégico para el consumo humano y actúan como el regulador natural de todo el sistema hídrico (Cerón et al., 2021). La mayor parte de las aguas continentales disponible en el planeta que no se encuentra en estado de congelación. El aprovechamiento de esta reserva vital depende por completo de que sus parámetros biológicos y fisicoquímicos se mantengan en niveles óptimos.

Para desentrañar la interacción entre los distintos recursos hídricos, este estudio profundiza en la bibliografía actual con el fin de marcar una distinción clara entre aguas superficiales y subterráneas. El análisis va más allá de lo meramente físico, explorando cómo opera cada fuente dentro del ciclo hidrológico. Dada su relevancia crítica para la vida humana y el sustento de los ecosistemas, ambas se consolidan como ejes esenciales del dominio público del agua.

Esta categoría integra sistemas hídricos de naturaleza diversa, abarcando desde ríos, lagos, lagunas y humedales, así como

formaciones de origen criogénico como nevados y glaciares, también incluye acuíferos y manantiales, esenciales para el acceso directo al agua. Desde la perspectiva geomorfológica este tipo de fuentes actúan como piezas estructurantes de las cuencas hidrográficas, regulando los puntos de descarga en sus desembocaduras y los flujos internos.

Asimismo, la normativa vigente amplía los límites del dominio hídrico para integrar otros ecosistemas de valor estratégico. Este grupo no solo incluye las aguas marinas costeras y los humedales del litoral, sino también el recurso hídrico resultante de los procesos de desalinización del mar. Esta perspectiva global admite que los diferentes depósitos de agua están vinculados entre sí, lo que obliga a adoptar un modelo de gestión capaz de abordar el sistema hídrico en su conjunto, superando la división convencional entre los recursos superficiales y los acuíferos (Avilés Castro & García Rodríguez, 2022).

La gestión integrada de las fuentes subterráneas y superficiales permite aprovechar sus diferencias naturales para cubrir necesidades de agua de forma más rentable. Al coordinar ambos recursos, no solo aumenta la disponibilidad hídrica total, sino que se logra una mayor resiliencia en las épocas de sequía, minimizando los conflictos y las crisis por falta del suministro. Los acuíferos funcionan como una reserva crítica gracias a su inmensa capacidad de almacenamiento. Esto permite que, en momentos específicos, se puedan extraer volúmenes de agua que incluso superan su recarga anual sin comprometer el sistema de inmediato. Esta característica convierte al agua subterránea en un recurso de auxilio vital. En muchos países, actúa como un seguro de emergencia que garantiza el suministro humano y agrícola cuando las sequías prolongadas agotan los ríos y embalses.

Contar con este tipo de reservas es como tener un seguro de vida para la estabilidad del agua cuando llegan las crisis de escasez. El verdadero valor de contar con las aguas subterráneas en la gestión diaria es que te dan un margen de maniobra, ya que funcionan como un amortiguador cuando los ríos fallan o la demanda se dispara de golpe, manteniendo la fiabilidad del suministro justo en el momento en que el sistema superficial se viene abajo ([Naciones Unidas, 2022](#)).

Esta sección se centra en comparar las aguas superficiales con las subterráneas, un punto clave para entender el combate contra la sequía. La idea es ver cómo hemos pasado de las soluciones de toda la vida a los modelos de gestión actuales, mucho más dinámicos y adaptados a la realidad de hoy. Integrar ambas fuentes de agua hace que el sistema rinda mucho mejor, gestionar los recursos de forma conjunta sirve para mucho más que solo tener más agua disponible, le da al sistema la agilidad necesaria para aguantar los periodos de escasez y la eficiencia se vuelve una prioridad.

La gestión hídrica moderna ha dejado de ser una simple tarea de reparto para convertirse en un ejercicio de adaptación estratégica frente a un clima cada vez más errático. El núcleo de este avance es el aprovechamiento de los acuíferos, no como pozos de reserva tradicionales, sino como una infraestructura natural viva capaz de almacenar recursos a perpetuidad.

Este modelo de gestión conjunta opera como un péndulo inteligente: durante los ciclos de abundancia, se protege el caudal de los ríos y se activan sistemas de Recarga Gestionada (MAR) para "sembrar" agua en el subsuelo; por el contrario, cuando la sequía aprieta, el sistema se apoya en estas reservas subterráneas para sostener la demanda sin colapsar el ecosistema superficial.

Al usar la tierra como un amortiguador natural, logramos una seguridad hídrica mucho más robusta y económica que la ofrecida por las grandes represas. Esta transición hacia soluciones basadas en la naturaleza evita los altos costos y el impacto ecológico de la infraestructura de hormigón, consolidando un modelo de resiliencia que, como señalan [Naciones Unidas \(2022\)](#) y [Foster y Cherlet \(2020\)](#), es la ruta más viable para enfrentar la crisis climática actual.

## **4.2. Características fisicoquímicas y microbiológicas**

El ciclo hidrológico establece una clara distinción entre el origen de las aguas. Las aguas superficiales se generan principalmente por la precipitación atmosférica, complementada por la descarga de agua subterránea (afloramientos) y la fusión de los glaciares. Estas se clasifican en tres tipos según su dinámica: las que fluyen sobre la tierra (escorrentías), las que se encuentran confinadas (lagos naturales o artificiales) y las que se mezclan con el mar (estuarios). En contraste, las aguas subterráneas representan el volumen que se ha infiltrado bajo la superficie y forma el nivel freático que marca el tope de la zona saturada, almacenándose en formaciones geológicas permeables denominadas acuíferos o siendo extraídas directamente mediante pozos. La composición del agua subterránea está intrínsecamente ligada a las condiciones del subsuelo. Sus características generales son el resultado de los procesos químicos (**Tabla 4.1.**) y microbiológicos (**Tabla 4.2.**), que tienen lugar en la matriz del suelo y en el acuífero, interfiriendo directamente el tipo de formación geológica, lo cual genera variaciones según el área de influencia. Dado que el aprovechamiento del agua está condicionado por el entorno, conviene analizar las diferentes técnicas de captación que la utilizan como recurso primordial ([Castro Guerrero & Pulecio Castro, 2022](#)).

**Tabla 4.1.** Contraste de las propiedades fisicoquímicas de las fuentes superficiales frente a las subterráneas. Fuente: Elaboración propia, adaptado de Freeze & Cherry (1979).

Característica	Agua superficial (ríos, lagos, embalses)	Agua Subterránea (acuíferos, pozos)
<b>Temperatura</b>	<b>Variable y fluctúa</b> con el ambiente y las estaciones; presenta el mayor rango térmico.	<b>Estable y consistente;</b> aislada de la atmósfera, presenta menor oscilación estacional.
<b>Turbidez / sólidos suspendidos</b>	<b>Alta.</b> Vulnerable a la entrada de sedimentos por erosión y escorrentía superficial.	<b>Mínima.</b> La filtración natural del subsuelo elimina eficazmente las partículas suspendidas.
<b>Color y sabor</b>	<b>Variable.</b> Coloraciones por materia orgánica y sabor afectado por algas o contaminantes.	<b>Clara/pura.</b> Sabor definido por la disolución de minerales geológicos (puede ser salino o ferroso).
<b>pH</b>	<b>Inestable.</b> Fluctuante y altamente sensible a la precipitación ácida y vertidos externos.	<b>Estable.</b> Regulado por la geoquímica de las rocas; presenta un comportamiento más amortiguado.
<b>Contenido de oxígeno disuelto (OD)</b>	<b>Alto.</b> Cerca de la saturación debido al intercambio continuo con la atmósfera.	<b>Bajo o nulo.</b> Consumido por la degradación biológica sin reoxigenación atmosférica.
<b>Materia orgánica</b>	<b>Alta.</b> Proviene de aportes directos de la biomasa, la vegetación y las descargas superficiales.	<b>Baja.</b> Es filtrada o degradada por el suelo; puede ser mayor en acuíferos someros.
<b>Dureza (calcio y magnesio)</b>	<b>Baja a media.</b> Depende directamente de la geología de la cuenca hídrica.	<b>Alta.</b> Mayor tiempo de contacto con rocas, disolviendo minerales como el $\text{Ca}^{2+}$ y $\text{Mg}^{2+}$
<b>Sales disueltas (Conductividad)</b>	<b>Variable;</b> influenciada por vertidos y escorrentía.	<b>Alta.</b> (Mayor contenido de iones disueltos como $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{HCO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ ).

El análisis comparativo revela que las aguas superficiales y las subterráneas funcionan como sistemas hídricos contrapuestos en

términos de calidad y resiliencia. Mientras que las fuentes superficiales son vulnerables y reaccionan rápido a los cambios climáticos o a contaminantes externos —mostrando variaciones bruscas en turbidez y temperatura—, las subterráneas destacan por su estabilidad microbiológica. No obstante, la química de estas últimas, especialmente su salinidad y dureza, está condicionada por el contacto prolongado con los minerales del subsuelo. Identificar estas diferencias es vital para diseñar planes de tratamiento y protección que garanticen una gestión sostenible de cada recurso.

**Tabla 4.2.** Análisis comparativo de los perfiles microbiológicos de aguas superficiales y subterráneas. Fuente: Elaboración propia, adaptado de [Ríos-Tobón et al. \(2017\)](#).

Característica	Agua superficial (ríos, lagos, embalses)	Agua Subterránea (acuíferos, pozos)
<b>Riesgo de patógenos</b>	<b>Alto.</b> Contaminación directa y recurrente virus, bacterias, parásitos ( <i>E. coli</i> , <i>Cryptosporidium</i> ).	<b>Bajo Inicialmente.</b> El subsuelo actúa como filtro biológico eficaz.
<b>Carga microbiana</b>	<b>Alta y fluctuante.</b> Presencia continua por ambiente y escorrentía.	<b>Mínima.</b> Limitada a poblaciones microbianas autóctonas del acuífero.
<b>Vulnerabilidad</b>	<b>Extrema.</b> Exposición directa a contaminación puntual o difusa.	<b>Mínima.</b> Requiere una falla directa (pozo defectuoso o fractura geológica).
<b>Tratamiento necesario</b>	<b>Completo.</b> Necesidad de coagulación, filtración y desinfección obligatoria.	<b>Simple.</b> A menudo sólo requiere desinfección de seguridad (cloración).

El aumento de patógenos en el agua, desde bacterias y virus hasta parásitos y hongos, suele responder a desequilibrios ambientales y sociales. Factores como la expansión industrial, el crecimiento urbano desordenado, la pobreza y la incursión humana en zonas naturales vírgenes degradan la calidad del recurso. No obstante, es la falta de un saneamiento básico adecuado lo que actúa como el principal riesgo,

comprometiendo la seguridad microbiológica de las fuentes hídricas. El impacto de la actividad humana se refleja de manera inmediata en el entorno y en los ecosistemas acuáticos. Dentro de este panorama, el sector agropecuario destaca como uno de los principales responsables de la contaminación hídrica. Este deterioro es provocado por las escorrentías de las granjas, la gestión de cultivos, el uso de abonos orgánicos sin tratamiento previo y, especialmente, el vertido negligente de desechos industriales, domésticos y residuales. En conjunto, estos factores degradan drásticamente la seguridad microbiológica de las reservas de agua dulce (Estébanez Núñez & Santano, 2009).

### **4.3. Aspectos técnicos y económicos**

#### **4.3.1. Extracción de agua superficial y subterránea**

Recurrir a los acuíferos para asegurar el acceso al agua es una estrategia clave con beneficios, ya sea que se aplique en entornos urbanos, actividades industriales o para optimizar el riego en zonas rurales, representando una alternativa de gran importancia con ventajas estratégicas. Dicha fuente hídrica subterránea se ha consolidado como un apoyo crucial para atender distintas demandas de agua, especialmente en territorios donde las fuentes superficiales presentan limitaciones por variabilidad climática, contaminación o insuficiencia en su capacidad de abastecimiento. Su aprovechamiento logra que el suministro sea mucho más estable y se evita la depender tanto de obras de ingeniería costosas o complejas.

Tal como se desarrollará más adelante, el agua subterránea sobresale por su factibilidad desde el punto de vista técnico, dado que los sistemas de captación y conducción suelen ser más sencillos y adaptables a diversas escalas de uso. Asimismo, su utilización resulta

favorable en términos económicos, ya que los costos asociados a su extracción, tratamiento y distribución suelen ser menores en comparación con otros esquemas de suministro. A ello se suma una ventaja estratégica adicional, relacionada con la oportunidad que ofrece para diversificar las fuentes de abastecimiento y fortalecer la seguridad hídrica en el largo plazo (Custodio, 1996).

La paradoja que rodea la gestión hídrica actual revela una desconexión crítica entre la realidad del consumo y la dirección de la inversión pública. Mientras que miles de comunidades, industrias y sectores agrícolas dependen ya de forma masiva y cotidiana de los acuíferos para su subsistencia, la visión gubernamental permanece estancada en el "monumentalismo" de las obras civiles. Las administraciones, seducidas por el impacto político y visual de los megaproyectos, suelen concentrar sus mayores presupuestos en la construcción de grandes represas, trasvases y canales destinados a captar caudales superficiales, dejando a las aguas subterráneas en una zona de invisibilidad administrativa y falta de regulación.

Esta predilección por la infraestructura gris no solo ignora la resiliencia natural que ofrecen los sistemas subterráneos frente al cambio climático, sino que también perpetúa una gestión desequilibrada. Dado que el agua es un recurso de vital importancia e insustituible, siendo el motor que articula todas las dinámicas humanas, por lo que su gestión no puede limitarse únicamente a construir obras de ingeniería para aprovechar los ríos o la lluvia.

Para que una gestión sea realmente sostenible, debe trascender, en el sentido de requerir un modelo que combine la eficiencia técnica con una ética clara, garantizando que la explotación y uso de los acuíferos hoy no termine agotando el recurso de las generaciones futuras.

Dándole a las aguas subterráneas una mayor importancia estratégica, de inversión y protección legal la cual hoy tienen los ríos, podremos garantizar una seguridad hídrica que sea justa para la sociedad y viable para la economía a largo plazo (Pérez Adán, 1992).

Incluso en países con niveles de desarrollo diferentes, el uso de acuíferos motiva investigaciones constantes para entender a fondo lo complejo que es este recurso. Hoy en día, la ciencia se enfoca en entender cómo cambia la química del agua subterránea, definir indicadores de calidad exactos y evaluar las amenazas que representan tanto la contaminación como la crisis climática. Ante este escenario, la preservación de la calidad de las aguas subterráneas se ha convertido en una prioridad absoluta para los investigadores de todo el mundo.

La investigación hídrica de hoy se apoya en pilares técnicos específicos, como el manejo de cuencas, planificar el territorio, simular los efectos del clima y realizar estudios hidrogeológicos. Ya que, los acuíferos son sistemas complejos por naturaleza, presentan áreas las cuales no funcionan aisladas, sino que se cruzan y se recargan y/o alimentan entre sí. Bajo este enfoque, el estado de calidad de los acuíferos se ha vuelto una prioridad global y una de las ramas científicas con mayor actividad hoy en día. Tal avance ha facilitado usar tecnologías avanzadas que no solo vigilan el recurso, sino que ayudan a entender exactamente cómo cambia la pureza del agua según el lugar y el momento (Cerón et al., 2021).

Con el paso del tiempo, los métodos para extraer agua del subsuelo han avanzado muchísimo, logrando niveles de eficiencia que antes eran impensables. Esta evolución técnica va mucho más allá de simplemente extraer agua del suelo, se ha vuelto en un motor

fundamental para el progreso y la viabilidad a largo plazo de incontables asentamientos humanos.

Al principio, los pozos se cavaban manualmente, por lo que era imposible llegar más abajo de donde empezaba el nivel freático de la zona. Esa forma artesanal de trabajar quedó atrás con la llegada de máquinas de perforación (**Tabla 4.3.**), un salto tecnológico que reduce drásticamente el tiempo y el esfuerzo físico para acceder al recurso hídrico. Gracias a la incorporación de maquinaria especializada y herramientas de vanguardia, la ejecución de estas obras ahora se realiza con una precisión y agilidad que eran impensables en los inicios de esta actividad (Vega Otero, 2006).

**Tabla 4.3.** *Parámetros operativos de los métodos de captación modernos.*  
Fuente: Elaboración propia.

Método	Tipo de suelo (ideal)	Profundidad común	Principal ventaja
Rotación	Gravas, arenas y arcillas	Hasta 1000 m	Mayor profundidad y estabilidad
Roto-percusión	Rocas consolidadas (duras)	100 m – 400 m	Alta velocidad de avance
Percusión (Cable)	Terrenos heterogéneos	50 m – 150 m	Bajo costo operativo (más lento)

Las siguientes son las principales variables tenidas en cuenta en la extracción del agua subterránea.

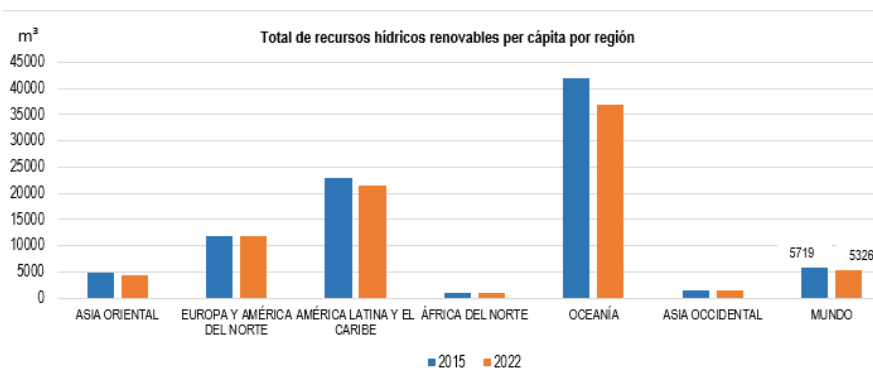
**Recarga de acuífero:** constituye una estrategia de gestión hídrica orientada a facilitar la infiltración de agua hacia los depósitos subterráneos. Este almacenamiento permite que el recurso sea recuperado posteriormente para satisfacer diversas demandas, desde el riego agrícola y el suministro urbano o industrial, hasta la mitigación

de la carga contaminante en el subsuelo. Los caudales destinados a este proceso provienen habitualmente de fuentes de escorrentía, tales como ríos, humedales y otros excedentes superficiales (Arévalo Sastoque & Caicedo Gaviria, 2022).

- **Caudal de producción:** este valor es escalable y se adapta según el tamaño o las necesidades particulares del área hidrogeológica que se esté estudiando (Arévalo Sastoque & Caicedo Gaviria, 2022).
- **Capacidad de un pozo:** representa el volumen o cantidad máximo de agua que se puede bombear de forma segura, sin afectar el acuífero. El límite operativo lo determina el nivel dinámico del agua, el cual no debe descender más allá de la profundidad donde se ubica la succión de la bomba para evitar fallos técnicos (Arévalo Sastoque & Caicedo Gaviria, 2022).
- **Capacidad de almacenamiento del acuífero:** se refiere al volumen crítico de extracción que el sistema subterráneo puede soportar. Este límite busca prevenir una caída drástica e irreversible en la carga hidráulica, protegiendo la integridad del reservorio (Arévalo Sastoque & Caicedo Gaviria, 2022).
- **Producción óptima:** constituye el rendimiento máximo sostenible de una cuenca hidrogeológica. A diferencia de la capacidad puntual, este concepto evalúa el equilibrio del sistema completo, asegurando que la extracción no altere negativamente otros componentes del ciclo hidrológico ni degrade la dinámica hidráulica de la zona (Arévalo Sastoque & Caicedo Gaviria, 2022).

Considerando las principales variables en la extracción del agua subterránea, la demanda mundial de este recurso se concentra en

sectores clave. Su distribución y alcance geográfico se ilustran en la **Figura 4.1.**



**Figura 4.1.** Distribución Total de recursos hídricos renovables per habitante y región. Fuente: Elaboración propia, información tomada de [Hernández Lagana y Mejias Moreno \(2025\)](#).

El volumen de agua captado que no llega a consumirse se reincorpora al ciclo mediante la infiltración hacia los acuíferos o el drenaje superficial hacia los cauces fluviales. No obstante, este flujo de retorno suele presentar una degradación en su calidad original, debido principalmente a la lixiviación de sales y la presencia de agroquímicos arrastrados desde el perfil del suelo hasta la zona saturada, comprometiendo la calidad de las reservas hídricas subterráneas ([Food and Agriculture Organization of the United Nations \[FAO\], 2002](#)).

En términos comparativos, los porcentajes de retorno varían drásticamente según la actividad:

- **Sector agrícola:** Se estima un retorno cercano al 50 % del volumen retirado. ([Naciones Unidas, 2021](#)).

- **Uso doméstico:** Hasta el 90 % regresa a ríos y acuíferos en forma de aguas residuales. (Naciones Unidas, 2021).
- **Sector industrial:** Presenta el índice más alto, devolviendo aproximadamente el 95 % del agua utilizada. (Naciones Unidas, 2021).

A pesar de que los vertidos urbanos e industriales de baja calidad suelen someterse a procesos de depuración antes de su descarga, su tratamiento representa un desafío técnico complejo. Por esta razón, en el ámbito agrícola, la estrategia de mitigación de la contaminación no debe centrarse solo en la limpieza posterior, sino en un control riguroso del manejo cuantitativo del riego y la regulación de los excedentes que abandonan los predios productivos (FAO, 2002).

#### 4.3.2. Tratamiento de agua superficial y subterránea

Un sistema de suministro hídrico comprende la infraestructura integral diseñada para transformar el recurso en bruto en agua potable. Este proceso abarca desde la captación en la fuente original hasta el transporte, tratamiento y almacenamiento necesario para asegurar que el agua llegue en condiciones óptimas a los puntos de consumo final. El funcionamiento de toda red de abastecimiento de agua se apoya en los elementos que se detallan a continuación: (Asprilla Lara et al., 2013).

**Captación:** se ejecuta mediante estructuras diseñadas a medida según el tipo de fuente de agua. Entre las más comunes destacan las captaciones flotantes, ideales porque se adaptan cuando el nivel del agua sube o baja; las laterales tipo fijo, diseñadas para márgenes con cauces de gran estabilidad y finalmente, las obras subterráneas, cuyo objetivo es captar directamente el flujo que corre por los acuíferos. Es

fundamental garantizar que el punto de origen y captación del agua permanezca libre de agentes contaminantes externos, evitando factores de riesgo como el paso de animales o la presión de actividades humanas. En el caso de las fuentes superficiales y subsuperficiales, la recomendación principal es instaurar cerramientos físicos que funcionen como perímetros de seguridad, lo que permite blindar la zona de recolección y se evitan contaminaciones que alteren la calidad del recurso.

**Conducción:** se entiende como el traslado del agua tratada desde la planta a través de las redes matrices. Esta infraestructura actúa como un nexo esencial, asegurando que el recurso alcance su destino cumpliendo estrictamente con los requisitos técnicos exigidos para las etapas posteriores de procesamiento.

**Tratamiento:** constituye el eje central de cualquier sistema de suministro, demandando una atención especial y recursos considerables para garantizar que el recurso sea seguro para el consumo humano. La metodología aplicada varía significativamente según el entorno: desde técnicas básicas para contextos rurales hasta sistemas avanzados en Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP). En última instancia, es la calidad del agua cruda en la fuente la que determina qué tecnología o proceso es el más adecuado para su purificación, el cual varía significativamente si la fuente es superficial o subterránea.

**Almacenamiento:** se gestiona mediante depósitos fabricados en materiales como concreto reforzado o fibra de vidrio, diseñados específicamente para acopiar el agua ya potabilizada. La finalidad estratégica de estas reservas es blindar la continuidad del suministro, permitiendo que la población cuente con el recurso incluso durante

contingencias, fallos técnicos o labores de mantenimiento en la infraestructura de distribución.

La estanqueidad es una característica obligatoria del tanque de almacenamiento, el cual debe permanecer aislado de cualquier agente contaminante. Dependiendo de los requerimientos específicos del sistema de acueducto, estas unidades pueden diseñarse como estructuras elevadas o ubicarse a nivel de superficie, ya sea de forma enterrada o semienterrada.

**Distribución:** sistema de conductos (tubería) diseñado para trasladar el agua potable hasta el usuario final. La eficacia de este sistema depende de su capacidad para cumplir simultáneamente con cuatro requisitos críticos: certificar la pureza del recurso, proveer el caudal necesario para satisfacer la demanda, sostener una presión de red estable y asegurar la continuidad total en la prestación del servicio.

La configuración técnica de los sistemas de abastecimiento de agua se da de la siguiente manera:

La transformación de agua cruda en recurso apto para consumo depende de una secuencia de ingeniería que inicia con el diagnóstico del origen. En fuentes subterráneas, la fase crítica no es solo la construcción, sino la prospección geofísica y las pruebas de bombeo. Estos ensayos determinan el caudal de equilibrio para evitar la sobreexplotación del acuífero y definen el tipo de equipo electromecánico necesario. Por ejemplo, en pozos profundos se opta por bombas sumergibles multietapa, mientras que en captaciones superficiales con variaciones de nivel se emplean sistemas de succión flotante para evitar el ingreso de sedimentos del fondo.

El transporte del fluido exige un control riguroso de la hidráulica de redes. La selección de la bomba debe alinearse con la curva de resistencia del sistema, integrando dispositivos de protección contra transitorios hidráulicos para proteger la integridad de las matrices (Asprilla Lara et al., 2013). Durante el tratamiento, la tecnología aplicada (desde la filtración rápida hasta sistemas de ósmosis) se ajusta a la analítica fisicoquímica del agua. Este proceso hoy se automatiza mediante sensores de telemetría que reportan en tiempo real la turbiedad y el cloro residual, permitiendo una respuesta inmediata ante cambios en la calidad de la fuente (Fair et al., 2017).

Finalmente, la operatividad se apoya en el almacenamiento y la distribución eficiente. Los tanques, ya sean elevados o enterrados, actúan como pulmones del sistema para compensar los picos de demanda. El control de estos depósitos se moderniza con transmisores de nivel ultrasónicos o de presión, que automatizan el encendido de las estaciones de bombeo mediante señales electrónicas, una red técnica exitosa no solo transporta agua, sino que sostiene presiones constantes y caudales suficientes, minimizando las pérdidas técnicas mediante una sectorización inteligente de las tuberías, la Agenda 2030 integra estas perspectivas situando la dignidad humana como eje fundamental de sus objetivos. Bajo esta premisa, el marco global se orienta a la eliminación de la pobreza y al fomento del bienestar social, priorizando una administración integral y duradera del recurso hídrico. Este compromiso abarca desde asegurar el acceso al saneamiento y la protección de los ecosistemas, hasta fortalecer la resiliencia de los asentamientos humanos frente a las crisis climáticas. Asimismo, el modelo promueve ciudades más sostenibles y una gobernanza participativa, donde la ciudadanía intervenga en la gestión del agua con base en información transparente, buscando así mitigar las disparidades estructurales que limitan el acceso equitativo a este bien vital (Rojas Rueda & Tzatchkov, 2022).

#### **4.3.2.1. Características de un sistema de abastecimiento óptimo y de calidad**

Debido a la contaminación y degradación de la calidad del recurso hídrico dos enfoques deben ser priorizados. El primero de ellos es la reducción de los riesgos para la salud mediante un tratamiento adecuado, ya que, el consumo de agua subterránea sin tratar puede derivar en patologías crónicas o agudas. Este tratamiento puede direccionarse mediante un tratamiento convencional, que incluya, por ejemplo, implementación de sistemas de filtración, cloración o ebullición a nivel doméstico, o la construcción de plantas de tratamiento de agua potable a gran escala. Sin embargo, el tratamiento debe acompañarse de programas de vigilancia y monitoreo, para lo cual, idealmente, se deben establecer programas rigurosos de evaluación de contaminantes químicos y microbiológicos, prestando especial atención a poblaciones vulnerables expuestas a aguas con tratamientos parciales; asimismo, esto debería ir acompañado de una adecuada infraestructura de saneamiento (i.e., disponer de un correcto diseño y mantenimiento de sistemas sépticos para evitar la infiltración de patógenos fecales en las zonas de captación de agua).

El otro enfoque es propender por la conservación del recurso. La protección del acuífero garantiza su función como reserva estratégica frente al cambio climático. Dentro de este enfoque se incluyen estrategias técnicas como: (i) disponer de un plan adecuado para el manejo ambiental, el cual debe incluir, como mínimo, la formulación de instrumentos técnicos que prioricen acuíferos, realicen inventarios de usuarios y definan programas de ahorro, la gestión de la recarga mediante la protección de las zonas de infiltración natural y control del sobrebombeo en aras de evitar la degradación de los ecosistemas y reducir al máximo la intrusión salina. (ii) Realizar un adecuado control de las fuentes de contaminación, para lo cual es primordial

llevar a cabo una reducción de aportes de contaminantes tanto puntuales como difusos (por ejemplo, los generados por descargas industriales y la agricultura, respectivamente) (Jiménez Terán, 2012).

El cumplimiento de estas dimensiones técnicas es fundamental para garantizar que el sistema de acueducto opere bajo estándares de calidad superiores. De este modo, se asegura una prestación del servicio eficiente que responda con excelencia a las necesidades de la comunidad.

**Calidad:** Implica en mantener un control riguroso sobre la pureza del agua, asegurando que no contenga patógenos ni sustancias dañinas. Este nivel de exigencia es vital para evitar que el acueducto se vuelva un conductor de infección de enfermedades graves, como el cólera, la tifoidea o problemas gastrointestinales severos.

**Cobertura:** Este pilar exige la universalidad del servicio, asegurando que el acceso al agua potable debe ser un beneficio garantizado para cada integrante de la comunidad, eliminando cualquier tipo de exclusión o limitación técnica en el territorio.

**Cantidad:** se centra en asegurar un volumen hídrico suficiente para cubrir, sin carencias, todas las exigencias de higiene personal, las labores domésticas y el resto de necesidades vitales de la población o comunidad servida.

**Continuidad:** garantiza un flujo constante las 24 horas; la intermitencia en el suministro va más allá de una simple molestia para el usuario, ya que compromete la seguridad de toda la infraestructura. Al caer la presión, se generan vacíos en el sistema que pueden succionar contaminantes externos hacia el interior de las tuberías, degradando la potabilidad del recurso.

**Condición (infraestructura):** Se refiere a la evaluación del estado técnico y sanitario de depósitos y redes. Este factor demanda una disciplina de mantenimiento constante, enfocada en la desinfección de tanques de almacenamiento y en el monitoreo del desgaste físico de las tuberías. El objetivo es prevenir filtraciones o roturas las cuales generan pérdidas y actúan como puntos críticos de entrada para contaminantes externos que ponen en riesgo la seguridad hídrica.

**Costo (sostenibilidad económica):** El acceso al agua potable implica una estructura de costos que abarca desde los insumos de purificación hasta la operatividad del sistema. Es imperativo establecer una tarifa equilibrada que garantice la sostenibilidad financiera de la planta y sus reparaciones, pero que sea proporcional a la capacidad adquisitiva de la comunidad.

**Cultura hídrica:** Consiste en la valoración social del recurso y su vínculo directo con el bienestar colectivo. Implica un compromiso ciudadano para el consumo responsable y la preservación del entorno, fundamentado en la comprensión de que potabilizar el agua tiene un costo técnico y económico que debe asumirse para asegurar el suministro de las generaciones venideras.

#### **4.4. Interacciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas en el departamento de Córdoba**

La interacción entre las aguas subterráneas y superficiales nace a raíz de las necesidades hidrológicas del departamento de Córdoba, especialmente en época de sequía, donde nace la mayor necesidad de utilizar fuentes de agua alternas.

La presión ejercida por los sectores forestal y agropecuario ha intensificado el desgaste de los sistemas de drenaje natural en la

región. Esta situación se comprende mejor al observar las cifras de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), las cuales señalan que el 70 % del suelo departamental se proyecta para la expansión de la frontera agrícola.

En contraste, apenas el 30 % del territorio está catalogado como zona de exclusión ambiental o de relevancia cultural, con una concentración crítica en las subregiones del San Jorge y el Alto Sinú. El predominio de la ganadería extensiva bajo métodos tradicionales agrava este panorama, consolidándose como un modelo productivo que compromete seriamente la estabilidad edáfica y la calidad de las fuentes hídricas en la mayor parte del departamento ([Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge \[CVS\], 2020](#)).

La integridad de las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge enfrenta una grave amenaza debido a la extracción irregular de materiales de construcción y arrastre. El dragado ininterrumpido de lechos y riberas para obtener arena o arcilla ha desfigurado el curso natural de estas corrientes, provocando procesos críticos de erosión tanto lateral como de fondo que alteran irreversiblemente su dinámica hídrica. Sumado a este deterioro físico, la minería ilegal de oro, impulsada por grupos armados y actores locales como fuente de financiamiento, ha golpeado con especial dureza a la ciénaga de Ayapel. Esta práctica no solo degrada el ecosistema, sino que compromete la seguridad alimentaria y el acceso a servicios básicos al contaminar zonas pesqueras, terrenos agrícolas y las fuentes de agua potable de las comunidades circundantes ([CVS, 2020](#)).

La integridad de las redes hídricas en los ríos Sinú, San Jorge y en menor proporción en Canalete, se ha visto gravemente comprometida por la acumulación masiva de sedimentos en sus zonas bajas. Este fenómeno se origina en el desprendimiento y arrastre de materiales

desde las partes altas, lo que satura los cauces y altera su flujo natural. Según registros de la CVS (2018), esta erosión de los drenajes ha configurado escenarios críticos de inundación que afectan a múltiples municipios, con una incidencia alarmante en Lórica (24%), seguido de Tierralta (22%) y Montería (21%), alcanzando también a poblaciones como Valencia, Cereté, San Pelayo, Cotorra y San Bernardo del Viento. La vulnerabilidad ante estos desbordamientos se agrava debido a la degradación de los bosques riparios. La ausencia de esta vegetación de galería elimina una barrera natural fundamental para la estabilidad de las riberas y la mitigación de las crecidas. Como consecuencia adicional, el volumen de sedimentos transportados termina por colmatar los complejos cenagosos en la cuenca baja, un proceso que no solo reduce la capacidad de almacenamiento de los humedales, sino que termina forzando el desvío de los cauces principales hacia nuevas direcciones (CVS, 2020).

#### **4.4.1. Rasgos de las fuentes hídricas en el departamento de Córdoba:**

**Aguas superficiales:** La degradación de los bosques de galería ha provocado un efecto dominó que golpea la salud ambiental de las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge. Al desaparecer esta vegetación en las orillas (zona ribereña), se pierde el filtro natural y la capacidad de regular el agua, afectando directamente su calidad y dejando a los ríos totalmente vulnerables frente al exceso de sedimentos y las inundaciones recurrentes. Al perderse esa barrera de vegetación, las orillas (zona ribereña) se desgastan mucho más rápido por la erosión, lo que termina comprometiendo la topografía de los ríos, caños y arroyos. Otro factor es la falta de cobertura boscosa (árboles) ha hecho que la tierra ya no pueda absorber el agua como en épocas anteriores. Este fenómeno se traduce en una disminución crítica de los caudales y el agotamiento de cauces naturales. Asimismo, se ha fracturado la regulación térmica local: la pérdida de estos sumideros de carbono y

reguladores del microclima ha derivado en temperaturas más altas y una alteración a la baja en los regímenes de lluvia regionales. Finalmente, la fragmentación del paisaje surge como una de las amenazas más severas para la fauna silvestre. La ruptura de los corredores biológicos impide el libre tránsito de especies, condenándolas al aislamiento y, eventualmente, a la extinción local. Esta preocupación fue validada por las comunidades durante los talleres participativos, donde se subrayó que la falta de conectividad ecosistémica está desarticulando la biodiversidad del territorio (CVS, 2020).

**Aguas subterráneas:** La integridad de las reservas hídricas subterráneas en el departamento enfrenta una crisis multidimensional asociada a presiones sanitarias, climáticas, hidrogeológicas y productivas. Los vertimientos de aguas residuales y la disposición inadecuada de residuos no solo deterioran las fuentes superficiales, sino que comprometen directamente los nacimientos y las fuentes de abastecimiento críticas, como pozos profundos y aljibes. Este escenario se agrava bajo la presión del cambio climático; las sequías prolongadas impiden la recarga natural de los acuíferos, provocando un fenómeno de concentración de sales por evapotranspiración y una preocupante falta de dilución de contaminantes. En las zonas costeras, la problemática adquiere un matiz adicional con la intrusión de la cuña salina, donde la proximidad al mar altera la potabilidad del recurso. No obstante, el riesgo químico es quizás el hallazgo más alarmante. Según antecedentes técnicos recopilados por la CVS, el sistema acuífero de la formación Betulia, zona del complejo cenagoso de Ayapel, confirmaron mediante piezómetros la presencia de mercurio en el sistema. Estudios posteriores ratificaron la vulnerabilidad de este acuífero al detectar coliformes totales, nitratos y trazas de mercurio, aunque estas últimas se mantuvieran por debajo de los límites normativos. La calidad del

agua, evaluada bajo el índice ICAFQ, muestra un espectro de resultados que oscila entre niveles aceptables y condiciones deficientes o "malas". Esta fragilidad no es exclusiva de Ayapel; informes de la CVS extienden la alerta de alta vulnerabilidad a la contaminación hacia el acuífero aluvial del río Sinú, así como a las formaciones de El Cerrito y Sincelejo, subrayando una amenaza generalizada para el subsuelo del departamento (CVS, 2020).

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Mindtech s.a.s., la Universidad del Valle, la Universidad de Córdoba, Polymeiker s.a.s., MT-Solsosting s.a.s., Instituto de Ciencia y Tecnología Analítica Golden-Hammer s.a.s. por los fondos suministrados en el marco del proyecto MT-012025 (C.I. 71408 Univalle) - Convenio MT-AFICAT-202501. Asimismo, agradecen al Departamento Nacional de Planeación de Colombia a través del Sistema General de Regalías por los recursos suministrados en el marco del proyecto BPIN 2020000100261.

## Referencias

- Arévalo Sastoque, W. L., & Caicedo Gaviria, A. (2022). *Guía conceptual para la extracción de aguas subterráneas en Colombia* [Trabajo de grado de especialización, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/10983/30406>
- Asprilla Lara, Y., Martínez Amado, M. A., & Mora Naranjo, L. A. (2013). Aspectos técnicos, operativos y ambientales en los sistemas de abastecimiento de agua potable en municipios con nivel de complejidad medio: Un estudio de caso. *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, 10(1). <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/8284>

- Avilés Castro, G. J., & García Rodríguez, R. (2022). Sobreexplotación de pozos profundos y perforación irregular en acuíferos costeros. *Recimundo*, 6(1), 277-288. DOI: 10.26820/recimundo/6.(1).ene.2022.277-288
- Castro Guerrero, A. A., & Pulecio Castro, G. A. (2022). *Análisis documental de las aguas subterráneas y su caracterización in situ, en el municipio Girardot – Cundinamarca sector sur occidente*. [Monografía de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio Institucional de la Universidad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/11661>
- Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., & Soto-Paz, J. (2021). Groundwater: Trends and Scientific Development. *Información Tecnológica*, 32(1), 47-56. DOI: 10.4067/S0718-07642021000100047
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. (2020). *Plan de Acción Institucional 2020-2023*. [https://cvs.gov.co/web/wp-content/docs/PLAN\\_DE\\_ACCION\\_CVS\\_2020-2023.pdf](https://cvs.gov.co/web/wp-content/docs/PLAN_DE_ACCION_CVS_2020-2023.pdf)
- Custodio, E. (1996). Explotación racional de las aguas subterráneas. *Acta Geológica Hispánica*, 30(1-3), 21-48. <https://revistes.ub.edu/index.php/ActaGeologica/article/view/4561/5812>
- Estébanez Núñez, N., & Santano, D. (2009). Microorganismos patógenos del agua. Estudio de Molinao Erreka. *Meridies* (13), 69-76. <http://www.laanunciataikerketa.com/trabajos/microorganismos/in.html>
- Fair, G. M., Geyer, J. C., & Okun, D. A. (2017). *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales* (2.ª ed.). Limusa.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2002). *Agua y cultivos*. FAO. <https://www.fao.org/4/y3918s/y3918s00.htm>

- Foster, S., & Cherlet, M. (2020). *The role of groundwater in integrated water resources management*. Global Water Partnership (GWP).
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall.  
<https://fc79.gw-project.org/>
- Hernández Lagana, M., & Mejias Moreno, P. (2025). *AQUASTAT water data snapshot 2025*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://doi.org/10.4060/cd7054en>
- Jiménez Terán, J. M. (2012). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*. Universidad Veracruzana. [Manual-de-Diseño-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf](#)
- Naciones Unidas. (2021). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El valor del agua. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_spa)
- Naciones Unidas. (2022). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022: Aguas subterráneas, Hacer visible el recurso invisible*. UNESCO. DOI: 10.18356/9789233001930
- Pérez Adán, J. (1992). El pensamiento ecológico de Juan Pablo II. En *Estudios sobre la Encíclica Centesimus Annus* (pp. 333–350). Aedos-Unión Editorial.
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236–247. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08
- Rojas Rueda, A., & Tzatchkov, V. G. (Coords.). (2022). *Introducción a la seguridad hídrica*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. DOI: 10.24850/b-imta-2022-04

## Capítulo 5

# Uso de aguas subterráneas en comunidades vulnerables del departamento de Córdoba: Una aproximación sociológica

Alemán-Ramírez Y.E.; Gaviria-Contreras, E.; Rafael A. Bolaño-Vásquez

—

### Resumen

El presente capítulo aborda las dinámicas sociales, comunitarias y territoriales relacionadas con el uso de las aguas subterráneas en el departamento de Córdoba, Colombia. Mediante una revisión bibliográfica, se analiza la importancia de este recurso en las zonas rurales, donde muchas comunidades dependen de él para realizar sus actividades domésticas, agrícolas y productivas. También se estudian las formas de participación comunitaria en la gestión del agua, destacando el papel de los saberes locales, la organización social y los acuerdos colectivos en su uso. De igual forma, se analizan los conflictos que se presentan entre comunidades, entidades gubernamentales y los actores empresariales, principalmente en lo que tiene que ver con el acceso y el control del recurso. Por último, se analiza la cosmovisión de las comunidades campesinas e indígenas, donde el agua no solo es vista como un recurso natural, sino un elemento esencial para la vida, con un valor cultural, social, y espiritual. Por esta razón, el capítulo resalta la importancia de unir lo social y lo técnico, y de fortalecer la participación y la gobernanza en el uso de las aguas subterráneas.

**Palabras claves:** Aguas subterráneas, participación comunitaria, gobernanza del agua, conflictos socioambientales, cosmovisión.

**Citar como:** Alemán-Ramírez, Y.E.; Gaviria-Contreras, E.; Bolaño-Vásquez, R.A. Uso de aguas subterráneas en comunidades vulnerables del departamento de Córdoba: Una aproximación sociológica. En: García-Quintero, A.; Palencia, M.; Combatt, E.M.; Valle-Zapata, H.A. (Eds). MT Pallantia-Publisher, Cali - Colombia, 2026, 189-211. DOI: 10.34294/b.006.c5.2026.05

## 5.1. Introducción

Las aguas subterráneas se han convertido en una fuente clave para el abastecimiento de agua, especialmente en territorios donde el acceso al agua superficial es limitado o no es constante. En el departamento de Córdoba, este recurso tiene una gran importancia en las zonas rurales, donde muchas comunidades dependen de él para sus actividades domésticas, agrícolas y productivas ([Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales \[IDEAM\], 2023](#)).

En este contexto, el agua subterránea no sólo debe entenderse desde lo técnico, sino también desde lo social, ambiental y territorial. En varias comunidades del departamento de Córdoba, su uso no depende únicamente de que haya disponibilidad, sino también de su calidad y de la forma en que las personas se organizan para aprovecharla ([Gobernación de Córdoba & CVS, 2021](#)). En algunas veredas, por ejemplo, el agua de pozos profundos tiene características que dificultan su uso en el hogar, por lo que las familias recurren al almacenamiento de agua lluvia para sus actividades diarias.

Estas prácticas dejan ver que la gestión del agua subterránea no depende solamente de lo físico, sino también de los saberes locales, la forma en que las comunidades se organizan y las decisiones que toman en el territorio. En este sentido, entidades como la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge han desarrollado acciones para la protección, el manejo y educación ambiental en torno a los acuíferos; sin embargo, muchas veces estos procesos no logran ajustarse a la realidad y a las necesidades de las comunidades ([Gobernación de Córdoba & CVS, 2021](#)).

Con base en lo anterior, el manejo de las aguas subterráneas se puede ver como un espacio donde intervienen distintos actores e intereses.

En muchos territorios, las decisiones sobre su uso han generado tensiones entre las comunidades, en las entidades del estado y sectores empresariales sobre todo cuando el acceso al agua se percibe como escaso o desigual (Lara et al., s. f.; Martín & Justo, 2015).

De esta forma, las aguas subterráneas no sólo son importantes para la vida y la producción, sino que también ayudan a entender las dinámicas de participación, gobernanza y conflictos en el territorio. Por eso, este capítulo se centra en analizar estas relaciones desde una perspectiva social, reconociendo el papel de las comunidades y las tensiones que surgen alrededor del recurso.

## **5.2. Participación comunitaria en torno a la gestión y gobernanza de las aguas subterráneas de la región (Departamento de Córdoba, Colombia)**

La gestión técnica de las aguas no recae de manera exclusiva CVS, ya que la protección y el uso adecuado de los recursos naturales no deben ser una tarea limitada únicamente a las instituciones. De acuerdo con la política de educación ambiental de Córdoba, la administración del territorio y de los recursos hídricos debe desarrollarse de forma articulada, promoviendo la participación activa de las comunidades rurales, las organizaciones sociales, las juntas de acción comunal y las entidades públicas, con el propósito de que la responsabilidad sobre el uso y la conservación del agua sea compartida (Gobernación de Córdoba & CVS, 2021).

En el ámbito cotidiano, la participación comunitaria no se limita a asistir a espacios informativos o reuniones institucionales, sino que también sucede en espacios de formación, intercambio de saberes y la forma de afrontar las dificultades del acceso al agua en los municipios del Bajo Sinú, donde los acuíferos son una de las principales fuentes de

abastecimiento ([Sepúlveda et al., 2020](#)). En estos territorios, el acceso al agua depende de estas fuentes subterráneas que, aunque son muy importantes para la comunidad, no son ilimitadas, por lo que deben cuidarse y manejarse de forma muy responsable, con el apoyo de las autoridades ambientales y con mayor conciencia sobre su uso en la vida diaria ([El Meridiano de Córdoba, 2025](#)).

En este contexto, principalmente en los municipios de Lórica, las comunidades han tenido que involucrarse de manera más activa, organizándose y construyendo alternativas colectivas. Un ejemplo de ello es la asociación de productores para el Desarrollo comunitario de la Ciénaga grande del bajo Sinú (ASPROCIG), una organización que está conformada por campesinos, pescadores e indígenas que se basa en los principios como la resistencia pacífica, son autónomos y resilientes ([Sepúlveda et al., 2020](#)). Con base en estas experiencias, se han impulsado procesos para defender el territorio y el recurso hídrico, incluso mediante la organización comunitaria y acciones legales frente a los proyectos que afectan los ecosistemas.

Además, estas comunidades han desarrollado prácticas sostenibles como los sistemas agroecológicos familiares (ABIF) y los colectivos (SADAS), las cuales combinan la producción agrícola con la piscicultura y el manejo del agua. Estos modelos fortalecen la seguridad alimentaria y la autonomía económica de las familias rurales, mostrando que el manejo del agua también está ligado a la organización de las comunidades y al cuidado del territorio ([Sepúlveda et al., 2020](#)).

De esta forma, también es importante tener en cuenta que la gestión del agua no se construye únicamente desde lo técnico o lo institucional, sino que en muchos territorios también esta relación con los saberes locales y las formas en que las comunidades se organizan

y toman decisiones frente al recurso. Estos elementos influyen directamente en la manera en que el agua es utilizada, cuidada y distribuida en la vida cotidiana ([Daza-Daza et al., 2018](#)).

Desde una perspectiva social, estas experiencias evidencian que el acceso al agua subterránea supera los enfoques técnicos y administrativos, pues incide directamente en la vida cotidiana de las personas. Para muchas familias rurales, este recurso no representa una alternativa más, sino la única posibilidad para satisfacer sus necesidades básicas. En este sentido, la participación de la comunidad resulta fundamental para fortalecer la gobernanza del agua y asegurar que las decisiones adoptadas responden a las realidades y necesidades de quienes dependen directamente de este recurso.

La gobernanza del agua no posee una definición única, ya que se configura según los contextos sociales y culturales en los que se desarrolla. De manera general, puede entenderse como el conjunto de mecanismos mediante los cuales diversos actores se organizan para garantizar un acceso equitativo y un uso responsable del agua ([Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible \[MADS\], 2012](#)). Bajo esta visión, el agua es concebida como un bien común cuya gestión requiere la acción conjunta de comunidades, organizaciones sociales e instituciones públicas. El trabajo articulado favorece resultados positivos en menor tiempo y amplía los beneficios para un mayor número de familias rurales que no cuentan con el acceso a agua potable y para quienes las aguas subterráneas representan su única fuente disponible ([MADS, 2012; IDEAM, 2023](#)).

En este sentido, se ha señalado que la gestión de las aguas subterráneas no puede limitarse a enfoques técnicos, sino que requiere la integración de diferentes disciplinas y la participación activa de los actores involucrados, lo que permite avanzar hacia una

gestión más equitativa y sostenible de este recurso (Barthel et al., 2017).

En la práctica diaria, esta participación se refleja en las formas de organización comunitaria para regular el acceso al agua. En diversas veredas, los habitantes establecen acuerdos sobre el uso de los pozos o represas, definen horarios, priorizan actividades y promueven el ahorro del recurso, especialmente durante los periodos de sequía. Aunque estas iniciativas no siempre cuentan con respaldo institucional, demuestran que la organización social, sumada al conocimiento local del territorio, permite proteger el agua y mejorar su aprovechamiento en la vida cotidiana.

Sin embargo, cuando los procesos de participación comunitaria no son reconocidos o tomados en cuenta de forma real en las decisiones institucionales, esto puede causar inconformidades y tensiones entre las comunidades y los demás actores que pertenecen al territorio. La falta de diálogo y una participación efectiva en la gestión del agua subterránea puede terminar en conflictos sociales, sobre todo cuando se anteponen intereses económicos o administrativos por encima de las necesidades locales. Esta situación muestra las limitaciones de la gobernanza del agua y permite entender por qué el uso de las aguas subterráneas en muchos casos, en un espacio de disputas entre las comunidades, las entidades gubernamentales y los sectores empresariales (Lara et al., s. f.).

A continuación, se presenta la **Tabla 5.1.**, en esta se resumen los principales indicadores estimados de participación comunitaria en la gobernanza del agua subterránea en el bajo Sinú (Córdoba). Sin embargo, se debe indicar que los indicadores mostrados son indicadores destacados, más no los únicos, y la inclusión de estos debe entenderse como un ejercicio de ejemplificación.

**Tabla 5.1.** Indicadores estimados de participación comunitaria en la gobernanza del agua subterránea en el Bajo Sinú (Córdoba). Fuente: Elaboración propia, información tomada de [Sepúlveda et al. \(2020\)](#) y [Gobernación de Córdoba y CVS \(2021\)](#).

Indicadores	Medición	Unidad	Análisis
Familias vinculadas a procesos organizativos del agua en el bajo Sinú	~6.200	Familias	Procesos de organización comunitaria relacionados con el uso y gestión del recurso hídrico
Organizaciones comunitarias vinculadas a ASPROCIG	96	Asociaciones	Estructuras sociales organizadas para defender el agua y el territorio
Sistemas agroecológicos familiares (ABIF) en el Bajo Sinú	~1.300	Sistemas productivos	Prácticas productivas que integran el manejo del agua en contextos rurales
Sistemas colectivos de producción sostenible (SADAS)	19	Sistemas	Experiencias comunitarias de gestión del agua y organización productiva
Municipios con participación comunitaria en la gestión del agua en el Bajo Sinú	≥5(Lorica, San Bernardo del Viento, Purísima, entre otros	Municipios	Concentración territorial de prácticas de gobernanza comunitaria del agua

### 5.3. Conflictos entre comunidades y entes gubernamentales-empresariales por el uso de aguas subterráneas

A escala global, la explotación de las aguas subterráneas ha dado lugar a tensiones y disputas en diversos territorios, especialmente cuando este recurso es destinado a iniciativas de gran envergadura que requieren volúmenes significativos de agua de manera continua. Estas situaciones de conflicto no se explican únicamente por la presión

sobre la disponibilidad del recurso, sino también por los mecanismos mediante los cuales se toman las decisiones, la limitada transparencia en la información técnica y la escasa inclusión de las comunidades locales que dependen directamente del agua subterránea para su subsistencia diaria.

En este sentido, los conflictos por el agua en América Latina no son hechos aislados, sino procesos estructurales relacionados con las desigualdades en el acceso al recurso, debilidades en su gobernabilidad y ausencia de espacios de diálogos entre los actores involucrados, lo que hace más difícil su manejo y su solución (Martín & Justo, 2015).

En muchos casos, la ausencia de procesos participativos y de acceso oportuno a la información genera percepciones de injusticia y exclusión. Las comunidades, al no contar con espacios reales para incidir en la gestión del recurso, perciben que las decisiones se imponen desde instancias externas, sin considerar las dinámicas sociales, económicas y ambientales propias del territorio. Esta situación se agrava cuando el agua subterránea se orienta prioritariamente a satisfacer intereses productivos o financieros, relegando las necesidades básicas de la población y la conservación de los ecosistemas asociados.

El conflicto tiende a intensificarse cuando los beneficios económicos derivados del uso del agua prevalecen sobre los derechos sociales y ambientales. En este contexto, los impactos negativos como la disminución de niveles freáticos, la afectación de actividades tradicionales y la pérdida de prácticas culturales vinculadas al agua suelen ser minimizados o invisibilizados. Al tratarse de un recurso subterráneo, su control social es limitado, lo que dificulta la vigilancia y el seguimiento de su uso.

Como resultado, se incrementa la desconfianza y el malestar, especialmente entre comunidades rurales e indígenas, que sienten que sus conocimientos, prioridades y formas de relación con el territorio no son reconocidos. Esta percepción refuerza la idea de que la gestión del agua subterránea responde a intereses ajenos al bienestar colectivo, profundizando las brechas sociales y debilitando la gobernanza del recurso (Jarvis, 2025).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe señala que los conflictos por el agua en la región se relacionan de manera directa con debilidades en los procesos de gobernanza, la falta de información accesible y la limitada participación en la toma de decisiones. Cuando el uso del recurso se determina sin mecanismos de diálogo y concertación, se incrementan las tensiones sociales y las desigualdades territoriales (Martín & Justo, 2015).

En el contexto colombiano, estas dificultades adquieren una mayor relevancia debido al débil control ejercido sobre el aprovechamiento de los acuíferos y a la insuficiente capacidad institucional para realizar seguimiento, control y monitoreo. De acuerdo con los análisis derivados de la Evaluación Nacional del Agua, el incremento sostenido en la demanda hídrica, impulsado por el incremento poblacional, el desarrollo de actividades productivas y la expansión de proyectos a gran escala, ejerce una gran presión sobre las aguas subterráneas. Esta situación limita la aplicación efectiva de medidas de gestión y protección (IDEAM, 2023).

La combinación de una mayor demanda de recursos con un débil acompañamiento institucional crea un escenario propicio para la aparición de tensiones entre los distintos actores involucrados. Comunidades locales, sectores productivos y autoridades ambientales pueden entrar en conflicto debido a la falta de reglas claras, a la

percepción de un uso inequitativo del agua y a la incertidumbre sobre la sostenibilidad del recurso a largo plazo. En este sentido, la carencia de una gobernanza sólida del agua subterránea no sólo pone en riesgo la disponibilidad futura del recurso, sino que también afecta la cohesión social y la confianza entre los actores del territorio ([IDEAM, 2023](#)).

En el departamento de Córdoba, las disputas asociadas al uso y manejo del agua se han consolidado como una de las principales problemáticas socioambientales del territorio. Estas situaciones no se explican únicamente por la presión sobre el recurso, sino por la débil articulación existente entre las instituciones públicas, los sectores productivos y las comunidades locales, lo que limita la construcción de acuerdos y estrategias conjuntas para una gestión adecuada del agua.

Diversos lineamientos departamentales, en especial los establecidos en la Política de Educación Ambiental de Córdoba, señalan que una parte significativa de estas tensiones surge cuando las decisiones relacionadas con el ordenamiento del territorio y el aprovechamiento de los recursos naturales se adoptan de manera centralizada, sin garantizar una participación efectiva de la población. En estos escenarios, las comunidades suelen quedar al margen de los procesos de planificación, pese a ser las principales afectadas por los impactos sociales y ambientales derivados del uso del agua ([Gobernación de Córdoba & CVS, 2021](#)).

En consecuencia, la falta de espacios de diálogos y de procesos de educación ambiental que ayuden a entender mejor el tema del agua hace que aumenten las diferencias entre los actores del territorio. Para enfrentar estos conflictos, es importante promover una participación con más información, que sea clara y constante, donde se reconozca el

papel de las comunidades en el cuidado y manejo del recurso hídrico (Gobernación de Córdoba & CVS, 2021).

En relación con las aguas subterráneas, el incremento sostenido de su uso para actividades agrícolas, industriales y el abastecimiento de la población ha causado una presión importante sobre los acuíferos del departamento. Este aumento no solo responde al crecimiento de la demanda, sino también a la dependencia cada vez mayor de este recurso frente a la disminución del agua superficial. En este contexto, diversos estudios señalan que la sobreexplotación de las aguas subterráneas se ha convertido en uno de los principales desafíos para su sostenibilidad, ya que en muchos casos la extracción supera la capacidad natural de recarga del acuífero, poniendo en riesgo su disponibilidad futura (Rivera et al., 2025).

De esta forma, el uso de las aguas subterráneas está siendo utilizados de manera cada vez más intensa, lo que ha ocasionado muchas veces que se extraiga más agua de la que se alcanza a recargar naturalmente. Algunos indicadores nacionales muestran una presión creciente tanto a nivel nacional como departamental (Tabla 5.2). De manera específica, aunque en el departamento de Córdoba no existen registros históricos completos sobre la explotación de las aguas subterráneas, los estudios nacionales muestran que el uso de ella ha ido aumentando, principalmente en relación con los permisos para usar pozos, la cantidad de perforaciones y la cantidad de personas que dependen de estas aguas en zonas rurales.

Esto no solo pasa en Córdoba, sino que es un problema que se ve en varias partes del país y del mundo. En Colombia, la Evaluación Nacional del Agua dice que entre 1990 y 2020, el uso de agua subterránea ha ido aumentando, principalmente porque hay menos

agua superficial disponible y el cambio climático también ha afectado mucho (IDEAM, 2023).

**Tabla 5.2.** Situación del uso del agua subterránea en Colombia y su relación con Córdoba. Fuente: Elaboración propia, información tomada de IDEAM (2023) y MADS (2012).

Indicador	Resultados encontrados	Importancia
Importancia del agua subterránea.	Fuentes estratégicas cuando disminuye la disponibilidad del agua superficial.	Nacional
Información sobre los acuíferos.	Limitaciones en el conocimiento hidrogeológico en gran parte del país.	Nacional
Distribución del uso.	Mayor uso en zonas costeras, agrícolas e industriales.	Nacional
Aumento de la demanda del agua.	Crecimiento asociado a la población, agricultura y la industria.	Nacional
Situación en Córdoba.	Incremento de pozos, permisos y uso en zonas rurales del bajo y medio Sinú.	Departamental

Una situación similar se ha documentado en otros países. En Chile Central, por ejemplo, la extracción de agua subterránea aumentó de 498 hm<sup>3</sup>/año en 1970 a más de 8.800 hm<sup>3</sup>/año en 2020, lo que se asoció con un descenso sostenido de los niveles piezométricos, atribuido principalmente al bombeo continuo y no únicamente a la disminución de las precipitaciones (Taucare et al., 2024). Esta evidencia pone de manifiesto que, cuando los volúmenes extraídos superan de manera persistente la recarga natural de acuífero, se compromete su estabilidad y disponibilidad a largo plazo, una situación que también podría presentarse en el departamento de Córdoba si no se adoptan medidas adecuadas de protección y gestión del recurso. A ello se suman las deficiencias en los sistemas de captación y distribución de agua, pues en Colombia se estima que entre el 30 % y el 45 % del recurso se pierde en fugas, deterioro de

redes o conexiones irregulares (IDEAM, 2023). En zonas rurales de Córdoba estas pérdidas pueden ser más grandes, ya que los sistemas son viejos, no siempre se les realiza mantenimiento y hay poca capacidad técnica y financiera para poder arreglarlos. Esto quiere decir que gran parte del agua que se extrae no llega a los usuarios, y eso aumenta la presión sobre los acuíferos.

A esta situación se suman diversas deficiencias estructurales que agravan el problema. El deterioro de las infraestructuras destinadas a la captación, conducción y distribución de aguas limita la eficiencia en su aprovechamiento y contribuye a un uso poco sostenible del recurso. Muchos de estos sistemas fueron construidos hace varias décadas y no han sido objeto de procesos adecuados de mantenimiento, modernización o renovación, lo que incrementa el riesgo de fallas y pérdidas significativas de agua durante su operación.

Asimismo, la persistencia de redes obsoletas y tecnologías poco eficientes favorece la aparición de fugas constantes, reduciendo la cantidad de agua efectivamente disponible para los usuarios finales. A ello se añade la presencia de conexiones irregulares, que dificultan el control del recurso y generan un uso desigual, afectando especialmente a quienes dependen del suministro formal. Estas prácticas no solo disminuyen la disponibilidad del agua subterránea, sino que también afecta la equidad en su distribución.

En este contexto, la combinación de una demanda creciente con una gestión deficiente del sistema hídrico subterráneo se traduce en tensiones entre los diferentes usuarios. Agricultores, industrias y población urbana compiten por un recurso cada vez más limitado, lo que incrementa las inconformidades y evidencia la necesidad de fortalecer los mecanismos de planificación, control y uso eficiente de las aguas subterráneas para garantizar su sostenibilidad a largo plazo

(El Meridiano de Córdoba, 2025). Aunque estos conflictos no siempre se hacen visibles, pueden entenderse como disputas por el acceso y control del agua subterránea (Martín & Justo, 2015).

En diferentes regiones del país se han desarrollado investigaciones que permiten comprender con mayor claridad las dinámicas y los conflictos asociados al uso del agua subterránea. Un ejemplo de ello es el estudio realizado en el acuífero del Abanico del Quindío, cuyos resultados aportan elementos valiosos para analizar problemáticas similares en otros territorios. Este tipo de estudios evidencia que, cuando una misma fuente subterránea es aprovechada de manera simultánea por múltiples actividades, como el consumo humano, la agricultura y otros usos productivos, se incrementa de forma significativa la presión sobre el recurso.

Las investigaciones señalan que estas tensiones se agravan en contextos donde no existe un monitoreo permanente ni un control efectivo sobre la extracción de agua. La ausencia de información actualizada y precisa sobre la localización, profundidad y condiciones de los pozos dificulta la planificación adecuada del uso del acuífero y limita la capacidad de las autoridades para regular su aprovechamiento. A ello se suman los riesgos asociados a la contaminación, derivados de las actividades humanas que se desarrollan en las zonas de recarga o influencia del acuífero, lo cual compromete la calidad del agua y su disponibilidad futura.

En escenarios como estos, la combinación de un uso intensivo, la falta de seguimiento técnico y la presencia de fuentes potenciales de contaminación favorece la aparición de conflictos entre los distintos usuarios. Cada actor busca asegurar su acceso al recurso, lo que puede generar disputas, desconfianza y una percepción de uso desigual o injusto del agua subterránea. Estas situaciones no solo afectan la

sostenibilidad del acuífero, sino que también impacta la convivencia y las relaciones sociales en el territorio.

Aunque el estudio del Abanico del Quindío no corresponde directamente al departamento de Córdoba, sus conclusiones permiten identificar patrones que pueden repetirse en otras regiones del país. En aquellos departamentos donde el agua subterránea constituye una fuente clave de abastecimiento, es posible que se presenten dinámicas similares sino se fortalecen los procesos de información, control y gestión integral del recurso ([Ospina Tonusco, 2023](#)).

En estos casos las comunidades se organizan para defender su acceso al agua mediante denuncias, solicitudes de información, movilizaciones, demandas y exigiendo ser tenidos en cuenta en las decisiones. Estas situaciones muestran que el manejo de las aguas subterráneas no es solo un tema técnico, sino que también involucra aspectos sociales y políticos. Reconocer esta realidad es importante para avanzar hacia formas de gestión más participativas, transparentes y que estén acorde con la realidad del departamento ([Jarvis, 2025](#)).

En este sentido, en el manejo de agua subterránea en el departamento de Córdoba participan distintos actores, cada uno con un papel diferente. En la **Tabla 5.3** se presentan los actores y su forma de participación en el manejo del agua. Estos incluyen actores del orden nacional, entidades territoriales, el sector productivo y la sociedad civil, principalmente la situada en las zonas rurales e indígenas. En particular hay que destacar que, en estos dos últimos casos, el nivel de participación en la gestión es bajo.

**Tabla 5.3.** Actores involucrados en la gestión y gobernanza del agua subterránea en Córdoba. Fuente: Elaboración propia, información tomada de [MADS \(2012\)](#) y [Gobernación de Córdoba y CVS \(2021\)](#).

Actor	Rol en la gestión	Participación	Nivel
Ministerio de ambiente y desarrollo (MADS)	Formulación de políticas, lineamientos y regulación ambiental a nivel nacional	Definición de normas y políticas públicas.	Alto
IDEAM	Generación de información técnica sobre el recurso hídrico.	Monitoreo, evaluación y producción de información científica.	Alto
ANLA	Evaluación y otorgamiento de licencias ambientales.	Control y seguimiento a proyectos de alto impacto.	Alto
CVS	Administración, control y manejo de los recursos naturales a nivel regional.	Regulación, monitoreo y gestión ambiental en Córdoba.	Alto
Entidades territoriales (Gobernación y alcaldías)	Implementación de políticas y planificación territorial.	Gestión local y ejecución de programas.	Medio-alto
Sector empresarial	Uso productivo del recurso hídrico.	Aprovechamiento económico y cumplimiento de normas.	Medio
Junta de acción comunal	Organización comunitaria para el acceso y uso del agua.	Coordinación local y apoyo comunitario.	Medio
Comunidades rurales	Uso cotidiano del agua.	Participación en prácticas de manejo y acuerdos locales.	Bajo
Comunidades indígenas	Relación cultural y protección del agua.	Aplicación de sus normas y saberes ancestrales.	Bajo

#### **5.4. Cosmovisión y cultura ancestral en torno al uso de aguas en comunidades campesinas e indígenas del departamento de Córdoba**

Desde el punto de vista ancestral, el agua no solo es reconocida como un recurso natural o económico, sino como un elemento fundamental para la vida, con un gran valor cultural, espiritual y simbólico. En muchas comunidades indígenas y campesinas del mundo, el agua es considerada como algo vivo del territorio, fundamental para la vida de todos los seres humanos y para mantener el equilibrio del territorio y de las comunidades. Esta manera en la que entienden el agua nace de una relación diaria y cercana con la naturaleza, donde las personas aprenden a conocer los ciclos de lluvia, el comportamiento de los ríos y los cambios que se presentan en los suelos por el uso del agua.

Esta forma de relacionarse con el agua les permite reconocer que su valor no se reduce a su uso de producir o su uso doméstico. El agua es cuidada y muy respetada como un elemento esencial para la vida, lo que les ha permitido a las comunidades desarrollar los conocimientos propios para su cuidado y uso con el paso de los años (Barros, 2021; Rosas & Navarrete, 2024).

Estas cosmovisiones ancestrales nacen de la idea de que el ser humano no está separado de la naturaleza, sino que forma parte de ella y depende de su equilibrio para poder vivir. En este sentido, el agua no se entiende solo como algo que se utiliza, sino como un recurso que debe cuidarse en conjunto, ya que de su equilibrio depende la vida de la comunidad. Por eso, su uso requiere acuerdos entre la comunidad, reglas propias y prácticas culturales que buscan su cuidado

Mientras que la mirada occidental, suele ver el agua solo como un recurso para producir o generar ingresos, las comunidades indígenas y campesinas las entienden como un bien común que les garantiza la

vida, el territorio y las relaciones sociales. Esta forma de relacionarse con el agua hace que su cuidado esté relacionado con la cultura, a la forma que se organizan en comunidad y al desarrollo de los pueblos, generando prácticas más equilibradas y respetuosas con el entorno en el que habitan (Tirado Acero et al., 2025).

En Colombia, las comunidades indígenas y campesinas tienen una relación muy cercana con el agua, que hace parte del territorio, de la cultura y la memoria colectiva. Los ríos, las quebradas, las ciénagas, los manantiales y las aguas subterráneas son comprendidos como espacios de vida, donde aún se conservan saberes ancestrales, historias y prácticas culturales que se han venido transmitiendo de generación en generación (Barros, 2021; Rosero et al., 2022).

En el departamento de Córdoba, estas dinámicas adquieren una relevancia particular en el caso del pueblo indígena Emberá Katío, especialmente en el Alto Sinú. Para estas comunidades, el agua y el río Sinú no solo representan una fuente de subsistencia, sino que hacen parte de su cosmovisión, su espiritualidad y su forma de vida. La relación con el río está ligada a prácticas como la pesca, la movilidad, la alimentación y la transmisión de conocimientos culturales. Diversos estudios señalan que la relación del pueblo Emberá con el agua está profundamente vinculada a su cosmovisión, donde los ríos no solo cumplen una función material, sino que también tienen un significado simbólico y espiritual dentro de su cultura (Durango Álvarez, 2008).

Sin embargo, esta relación se ha visto muy afectada por procesos de intervención del territorio, como la construcción de la represa de Urrá. Este proyecto generó grandes transformaciones en el entorno natural, alterando el curso del río, afectando los ecosistemas y cambiando las dinámicas sociales y culturales de las comunidades. Las primeras consecuencias se encuentran las inundaciones de territorios

ancestrales, la pérdida de espacios sagrados y la alteración de prácticas tradicionales como la pesca, especialmente por la disminución de especies como el bocachico, principalmente en la alimentación y cultura de la región. Además, la modificación del curso natural del río afectó la navegación y la comunicación entre comunidades, causando procesos de aislamiento y transformación social ((Durango Álvarez, 2008; Leguizamón Castillo, 2015).

Los impactos causados no solo fueron ambientales, sino también sociales y culturales, afectando la subsistencia, la organización comunitaria y las prácticas tradicionales del pueblo emberá Katío. Frente a esto, la comunidad desarrolló procesos de resistencia y movilización que se pueden entender como formas de acción colectiva para defender su territorio y sus derechos (Leguizamón Castillo, 2015). Este caso también evidencia las tensiones entre los modelos de desarrollo estatal y la garantía de derechos fundamentales como la consulta previa, la participación y el reconocimiento del territorio como base de la identidad cultural (Durango Álvarez, 2008). De este modo, los conflictos relacionados con el agua no se limitan al ámbito ambiental, sino que también abarcan dimensiones sociales, culturales y políticas.

Actualmente en el departamento de Córdoba, problemáticas recientes como las inundaciones evidencian la importancia de incluir los saberes de las comunidades en la gestión del recurso hídrico, impulsando formas más equitativas y acordes con la realidad del territorio.

Estas fuentes de agua hacen parte del territorio donde las comunidades habitan y que ellos sienten como propio, por lo que su cuidado se basa en las normas que tienen en su comunidad, los rituales y los acuerdos colectivos que van dirigidos a conservar el equilibrio

que tienen con la naturaleza. De esta forma el agua va a fortalecer la manera en cómo se organizan, el sentido de pertenencia y la relación cercana con el territorio. De este modo, los saberes ancestrales no sólo guían el uso diario del agua, sino que también realizan un gran aporte a la protección del territorio y a la preservación de la cultura frente a los cambios ambientales y del entorno (Barros, 2021; Rosero et al., 2022).

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Mindtech s.a.s., la Universidad del Valle, la Universidad de Córdoba, Polymeiker s.a.s., MT-Solsosting s.a.s., Instituto de Ciencia y Tecnología Analítica Golden-Hammer s.a.s. por los fondos suministrados en el marco del proyecto MT-012025 (C.I. 71408 Univalle) - Convenio MT-AFICAT-202501. Asimismo, agradecen al Departamento Nacional de Planeación de Colombia a través del Sistema General de Regalías por los recursos suministrados en el marco del proyecto BPIN 2020000100261.

## Referencias

- Barros, Á. M. M. (2021). *Memoria biocultural del conocimiento ancestral del agua para la resiliencia comunitaria: Casos de estudio Embera-Katíos y Zenúes (Colombia)* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)].  
UPCommons.  
<https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/64df0e83-3127-48f5-8f27-720252e5ac51/content>
- Barthel, R., Foster, S., & Villholth, K. G. (2017). Interdisciplinary and participatory approaches: The key to effective groundwater management. *Hydrogeology Journal*, 25(7), 1923-1926. DOI: 10.1007/s10040-017-1616-y

- Daza-Daza, A. R., Rodríguez-Valencia, N., & Carabalí-Angola, A. (2018). El recurso agua en las comunidades indígenas wayuu de La Guajira Colombiana. Parte 1: Una mirada desde los saberes y prácticas ancestrales. *Información tecnológica*, 29(6), 13-24. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642018000600013&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642018000600013&script=sci_arttext)
- Durango Álvarez, G. A. (2008). Derechos fundamentales de los pueblos indígenas: El caso del pueblo Embera Katío y la represa de Urrá. *Prolegómenos*, 11(22). <https://revistas.umng.edu.co/index.php/dere/article/view/2403>
- El Meridiano de Córdoba. (2025, 30 de noviembre). *El mundo subterráneo del agua: vital y en riesgo*. <https://elmeridiano.co/cordoba/municipio/el-mundo-subterraneo-del-agua-vital-y-en-riesgo-4gni9t>
- Gobernación de Córdoba, & Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. (2021). *Política de Educación Ambiental del Departamento de Córdoba: Educación Ambiental crítica, reflexiva y participativa para el territorio del río Sinú y San Jorge 2021 – 2031*. CVS. <https://cvs.gov.co/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2023). *Anexo 7: Aguas subterráneas. Estudio Nacional del Agua 2022*. [https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/anexo\\_7\\_aguas\\_subterraneeas\\_0.pdf](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/anexo_7_aguas_subterraneeas_0.pdf)
- Jarvis, W. T. (2025). Seeing underground: Understanding complexity in the Great Basin groundwater grab. En S. Islam, K.M. Smith, M. Klimes & A. Salzberg (Eds), *Routledge Handbook of Water Diplomacy* (pp. 616–637). Routledge. DOI: 10.4324/9781003178439-55
- Lara, A. A. C., Tapia, M. F. G., & Torres, C. Á. (s. f.). Alianzas gubernamentales-empresariales y Estado de Derecho. Construcción y cancelación de la cervecera Constellation Brands en Mexicali, Baja California. En J. del Tronco Paganelli (Ed.), *Patrimoniarquías* (p. 533).

[https://www.researchgate.net/profile/Jose-Tronco/publication/376451173\\_Patrimoniarquias/links/6578d352ea5f7f020565d85e/Patrimoniarquias.pdf#page=533](https://www.researchgate.net/profile/Jose-Tronco/publication/376451173_Patrimoniarquias/links/6578d352ea5f7f020565d85e/Patrimoniarquias.pdf#page=533)

- Leguizamón Castillo, Y. R. (2015). Conflictos ambientales y movimientos sociales: el caso del movimiento Embera Katío en respuesta a la construcción de la represa Urrá (1994–2008). *Memoria y Sociedad*, 19(39), 94–105. DOI: 10.11144/javeriana.mys19-39.cams
- Martín, L., & Justo, J. B. (2015). *Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe* (Serie Recursos naturales e infraestructura, No. 171). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://www.cepal.org/sites/default/files/analysis.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Gobernanza del Agua*. Archivo MinAmbiente. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico>
- Ospina Tonusco, S. (2023). *Estrategia para la generación de conocimiento y apropiación por el recurso hídrico subterráneo en el acuífero del Abanico del Quindío, Risaralda y Valle del Cauca en jurisdicción del departamento del Quindío*. [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://hdl.handle.net/11059/14735>
- Rivera, M. A. A., Villalobos-Paternina, J. M., Salcedo-Vital, N., & Meza-Blanquicet, J. F. (2025). Aguas subterráneas: Retos y Oportunidades para un uso eficiente del recurso hídrico. Groundwater: challenges and opportunities for efficient use of water resources. *Ingeniería e Innovación Universidad de Sucre-INGENIUS*, 1(1), 88–97. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/RCI/article/view/1187>
- Rosas, C. D. C. V., & Navarrete, B. M. G. (2024). Revaloración de la cosmovisión mesoamericana con relación al agua. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1–15. <https://epsir.net/index.php/epsir/article/view/1132>

- Rosero, E. J. G., Mora, V. L. C., & Quintero, L. C. B. **(2022)**. Siembra de la madre agua “Ta pue pi aktu”: Práctica ancestral desde la cosmovisión indígena del pueblo Pasto, una pedagogía en educación etnoambiental. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 7213-7242. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/3941>
- Sepúlveda Vargas, R. D., Taborda Caro, M. A., & Fuentes Doria, D. D. **(2020)**. Conflictos por el agua y resiliencia comunitaria en el Bajo Sinú: Evidencias de disputas y alternatividad. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, 25(Extra 3), 105-124. DOI: 10.5281/zenodo.3907052
- Taucare, M., Daniele, L., Viguier, B., & Figueroa, R. **(2024)**. The alarming state of Central Chile's groundwater resources: A paradigmatic case of a lasting overexploitation. *Science of the Total Environment*, 892, 164474. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.164474
- Tirado Acero, M., Ortega Guzmán, L. F., & Rey-Guerrero, D. F. **(2025)**. Diálogos interculturales y cosmovisiones indígenas en su relación con el agua en Colombia. *Revista Latinoamericana de Derecho Social*, (40), 181-203. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-46702025000100181&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-46702025000100181&script=sci_arttext)



### **Mindtech s.a.s.**

Es una empresa de investigación y desarrollo tecnológico, en ingeniería, ciencia de datos, ciencias fundamentales como la química y la microbiología, agricultura, acuicultura y desarrollo rural, desarrollo sostenible, ciencia de los materiales, ciencias ambientales, agronomía y desarrollo rural, ciencias analíticas aplicadas a problemas científicos, industriales y sociales, entre otras.

Cuenta con un grupo de investigación reconocido por el Ministerio de Ciencias, Tecnología e Innovación de Colombia, Mindtech Research Group, ha liderado proyectos a nivel nacional de investigación básica y aplicada, desarrollo tecnológico e innovación. Ha sido la cofundadora de la iniciativa AFICAT que converge en la actualidad a diversas instituciones públicas y privadas a nivel nacional, contribuido con la formación de capital humano a nivel posdoctoral, doctoral, maestría y pregrado.

[www.mindtech.com.co](http://www.mindtech.com.co)

