

EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA EN ZONAS
RURALES: CASO APLICADO A LA CUENCA DEL RÍO ALTO MAGDALENA

JHON JAIRO AZLATE OLAYA
JUAN DAVID RODRIGUEZ QUINTERO

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT, CUNDINAMARCA
2025

EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA EN ZONAS RURALES: CASO APLICADO A LA CUENCA DEL RÍO ALTO MAGDALENA

JHON JAIRO AZLATE OLAYA
Jhon-alzate@upc.edu.co
JUAN DAVID RODRIGUEZ QUINTERO
Juan-rodriguez81@upc.edu.co

Monografía presentada como opción de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Docente
JESUS FLAMINIO OSPITIA PRADA
Ingeniero Civil
Esp. En Gerencia Integral De Obras
Mgtr. En Tecnologías Para El Manejo De Aguas Y Residuos
jesus-ospitia@unipiloto.edu.co

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT, CUNDINAMARCA
2025

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, cuyo amor incondicional ha sido la base sobre la cual hemos podido construir cada uno de nuestros sueños. Gracias por creer en nosotros incluso en los momentos en que tuvimos dudas, por ofrecernos siempre una palabra de aliento y por enseñarnos, con sus ejemplos, el valor de la perseverancia y la honestidad.

Cada logro que hemos alcanzado es también de ustedes, porque han estado presentes en cada paso del camino, iluminando nuestros días con su apoyo, su comprensión y su compañía. A ustedes, que son nuestra mayor motivación y nuestro refugio más seguro, les entregamos con gratitud este esfuerzo académico que no sería posible sin su presencia constante en nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la elaboración y culminación de este trabajo. En primer lugar, a nuestras familias, cuyo apoyo constante ha sido el cimiento sobre el cual hemos construido cada paso de este proceso. Gracias por su paciencia, por creer en nuestras capacidades aun cuando tuvimos dudas, y por ofrecernos siempre un hogar lleno de comprensión, motivación y cariño. Su acompañamiento ha sido una fuente inagotable de fortaleza y un recordatorio permanente de que los logros son más valiosos cuando se comparten con quienes amamos.

Deseamos extender también nuestra gratitud a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo de este proyecto. A quienes nos brindaron la orientación necesaria, compartieron sus conocimientos o dedicaron parte de su tiempo para resolver nuestras dudas: gracias por su generosidad y disposición. Cada conversación, cada consejo y cada aporte enriqueció este trabajo y nos permitió crecer tanto académica como personalmente.

Agradecemos igualmente a quienes, con palabras de ánimo, gestos de apoyo o simples muestras de interés, hicieron más llevadero el camino. En los momentos de cansancio o dificultad, su presencia y sus mensajes fueron un impulso esencial para continuar.

Este trabajo representa el resultado de un esfuerzo colectivo, donde la dedicación se entrelaza con la influencia positiva de todas las personas que nos rodean. A cada uno de ustedes, gracias por formar parte de este proceso y por contribuir a que este logro hoy sea una realidad.

CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	10
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	12
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 GENERAL	14
3.2 ESPECÍFICOS	14
4. MARCO REFERENCIAL	15
4.1 ANTECEDENTES	15
4.2 MARCO TEÓRICO	15
4.3 MARCO CONCEPTUAL	16
4.4 MARCO LEGAL	17
4.5 MARCO GEOGRÁFICO	17
4.6 MARCO DEMOGRÁFICO.	20
5. DELIMITACIÓN	22
6. DISEÑO METODOLÓGICO	24
7. RECURSOS	25
7.1 HUMANO	25
7.2 MATERIAL	25
8. DESARROLLO PROPUESTA	26
1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA.	26
2. HIPÓTESIS DE TRABAJO	26
3. ANÁLISIS DEL CONTEXTO	26
4. EVALUACIÓN TÉCNICA Y SOCIAL	29
5. PROPUESTA DE SOLUCIÓN	33
6. APLICABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD.	38
9. CONCLUSIONES	42
10. RECOMENDACIONES	43
11. REFERENCIAS	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 síntesis de viabilidad (técnica-social-ambiental).....	41
---	-----------

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mapa del país, Departamento de Cundinamarca y corregimiento de Puerto Bogotá	19
Ilustración 2 Georreferenciación de puerto Bogotá	19
Ilustración 3 Estadísticas Dane	21
Ilustración 4 Estructura de la población	21
Ilustración 5 Perfil del río Magdalena	27
Ilustración 6 Variación del caudal	27
Ilustración 7 Afluentes que inciden en el Río Magdalena	28

RESUMEN

Este trabajo de investigación titulado Evaluación de alternativas de captación y tratamiento de agua en zonas rurales de la cuenca del río alto Magdalena: caso Puerto Bogotá aborda la problemática del acceso limitado al agua potable en comunidades rurales, tomando como unidad de análisis el corregimiento de puerto Bogotá, municipio de Guaduas, Cundinamarca.

La estructura del documento incluye una introducción que contextualiza el problema, plantea los objetivos y delimita el alcance del estudio. El marco referencial se compone de antecedentes, fundamentos teóricos, conceptos clave, normativas legales, y una caracterización geográfica y demográfica del área de estudio. La metodología empleada es de tipo aplicada, con enfoque cualitativo, basada en el método de estudio de caso. Se utilizaron técnicas como entrevista semiestructurada, observación directa y revisión documental, con triangulación de fuentes para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados.

El desarrollo de la propuesta incluye el análisis del contexto territorial, la evaluación tecnología de captación y potabilización, y la formulación de un sistema descentralizado atado a las condiciones locales. Los resultados evidencian que la implementación de soluciones técnicas con participación comunitaria pueden mejorar significativamente la calidad del agua y reducir los riesgos sanitarios.

Las conclusiones confirman la viabilidad de la propuesta su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y su potencial de replicabilidad en otras comunidades rurales. Finalmente, se presentan recomendaciones orientadas a fortalecer la gestión comunitaria del agua, promover las alianzas institucionales y desarrollar estudios complementarios sobre la calidad hídrica.

ABSTRACT

This research paper entitled Evaluation of water collection and treatment alternatives in rural areas of the upper Magdalena River basin: the case of Puerto Bogotá addresses the problem of limited access to drinking water in rural communities, taking as its unit of analysis the district of Puerto Bogotá, municipality of Guaduas, Cundinamarca.

The structure of the document includes an introduction that contextualizes the problem, sets out the objectives, and defines the scope of the study. The reference framework consists of background information, theoretical foundations, key concepts, legal regulations, and a geographical and demographic characterization of the study area. The methodology used is applied, with a qualitative approach, based on the case study method. Techniques such as semi-structured interviews, direct observation, and document review were used, with triangulation of sources to ensure the validity and reliability of the results.

The development of the proposal includes an analysis of the territorial context, an evaluation of water collection and purification technology, and the formulation of a decentralized system linked to local conditions. The results show that the implementation of technical solutions with community participation can significantly improve water quality and reduce health risks.

The conclusions confirm the feasibility of the proposal, its alignment with the Sustainable Development Goals (ODS), and its potential for replication in other rural communities. Finally, recommendations are presented aimed at strengthening community water management, promoting institutional partnerships, and developing complementary studies on water quality.

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable en zonas rurales de Colombia continúa siendo una problemática estructural que afecta la salud pública, el bienestar social y el desarrollo territorial. En este contexto, el corregimiento de Puerto Bogotá, perteneciente al municipio de Guaduas (Cundinamarca), representa un caso emblemático dentro de la cuenca del río Alto Magdalena, donde las condiciones geográficas, sociales y técnicas limitan la disponibilidad de agua segura para la población.

Diversos estudios han documentado la vulnerabilidad hídrica de comunidades rurales en esta región, evidenciando deficiencias en infraestructura, gestión institucional y participación comunitaria. Estas condiciones han motivado el desarrollo de investigaciones orientadas a evaluar alternativas de captación y tratamiento de agua que respondan a las necesidades locales y se alineen con los principios de sostenibilidad y equidad.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar proyectos de captación y tratamiento de agua en zonas rurales de la cuenca del río Alto Magdalena, mediante el análisis del caso aplicado en Puerto Bogotá. Se plantea una investigación aplicada, con enfoque cualitativo, que utiliza el método de estudio de caso y técnicas como entrevistas semiestructuradas, observación directa y revisión documental.

El alcance del estudio se limita al análisis técnico y social de propuestas de abastecimiento de agua, excluyendo componentes como el saneamiento básico o la gestión integral de cuencas. La investigación se desarrolla entre enero y septiembre de 2025, y se enfoca en una muestra representativa de habitantes del corregimiento, con especial atención a sectores vulnerables.

Las bases teóricas se sustentan en la gestión integrada de recursos hídricos, el desarrollo sostenible y la evaluación de proyectos de ingeniería, mientras que las bases prácticas se relacionan con experiencias comunitarias en la implementación de soluciones descentralizadas. El estudio busca aportar al campo de la ingeniería civil y la gestión ambiental, ofreciendo una propuesta contextualizada que pueda ser replicada en otras comunidades rurales.

La importancia de esta investigación radica en su contribución al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 – Agua limpia y saneamiento, y en su potencial para generar impactos positivos en salud, equidad y resiliencia comunitaria. A partir de este marco, se plantea el problema del acceso limitado al agua potable en Puerto Bogotá, como punto de partida para el desarrollo del proyecto.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las comunidades rurales de la cuenca del río Alto Magdalena, especialmente en el corregimiento de Puerto Bogotá (municipio de Guaduas, Cundinamarca), enfrentan serias dificultades para acceder a agua potable. El sistema actual de captación y tratamiento presenta deficiencias técnicas, intermitencia en el suministro y fallas operativas que afectan la salud pública, limitan las prácticas de higiene y restringen el desarrollo económico y social de la región.

Esta situación refleja un problema estructural común en zonas rurales de Colombia, donde la falta de infraestructura moderna y de proyectos sostenibles perpetúa condiciones de vulnerabilidad. Estudios como el de Guerrero Gaviria et al. (2024) evidencian que cerca del 20% de las zonas rurales del país carecen de acceso seguro al agua potable. Por tanto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué tipo de proyecto de captación y tratamiento de agua podría garantizar la continuidad y calidad del servicio en Puerto Bogotá, mejorando así la salud y el bienestar de su comunidad?

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo evaluar proyectos de captación y tratamiento de agua en zonas rurales, tomando como caso de aplicación la comunidad de Puerto Bogotá, ubicada en la cuenca del río Alto Magdalena?

2. JUSTIFICACIÓN

Garantizar el acceso universal al agua potable es una meta global que sigue siendo un desafío en muchas zonas rurales de Colombia. Más allá de la infraestructura, el agua segura representa una herramienta clave para mejorar la salud, la equidad y la calidad de vida de las comunidades. En este contexto, abordar las limitaciones en el abastecimiento hídrico en territorios como Puerto Bogotá se convierte en una acción estratégica para cerrar brechas sociales.

La falta de agua limpia no solo compromete la salud pública, sino que limita el desarrollo educativo, económico y ambiental de las regiones. Las niñas y mujeres, por ejemplo, suelen asumir la carga del transporte de agua, lo que afecta su tiempo disponible para estudiar o trabajar. Además, la escasez de agua segura dificulta la implementación de prácticas agrícolas sostenibles y la prevención de enfermedades transmitidas por el agua.

Este proyecto busca promover soluciones técnicas y comunitarias que aseguren la disponibilidad continua de agua potable, adaptadas al contexto rural y con enfoque de sostenibilidad. La participación de la comunidad y el uso de tecnologías apropiadas permitirán generar impactos duraderos y replicables en otras zonas con condiciones similares.

La iniciativa se articula directamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, que promueve el acceso equitativo al agua limpia y al saneamiento. Contribuir a este objetivo desde el ámbito local fortalece el cumplimiento de la Agenda 2030, y posiciona a Puerto Bogotá como un referente de transformación territorial basada en derechos humanos y justicia ambiental.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Evaluar alternativas de captación y tratamiento de agua en zonas rurales del Alto Magdalena, a partir del caso del corregimiento de Puerto Bogotá.

3.2 ESPECÍFICOS

1. Caracterizar las condiciones geográficas y ambientales que inciden en la captación y tratamiento de agua en zonas rurales de la cuenca, mediante revisión documental y trabajo de campo.
2. Analizar tecnologías de captación y potabilización aplicables al contexto del corregimiento de Puerto Bogotá, considerando criterios de sostenibilidad y eficiencia.
3. Evaluar la viabilidad técnica, social y ambiental de un proyecto de captación y tratamiento de agua en Puerto Bogotá, como modelo representativo para otras comunidades rurales de la región.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

Diversos estudios han abordado la problemática del acceso al agua potable en zonas rurales de Colombia, ofreciendo modelos y experiencias que sirven de referencia para nuevas investigaciones. Estos trabajos permiten comprender el estado actual del conocimiento, identificar variables comunes y explorar enfoques técnicos y sociales aplicables al contexto del corregimiento de Puerto Bogotá.

Uno de los aportes más relevantes es la Guía metodológica para la captación y aprovechamiento de aguas lluvias en el sector rural (VARGAS, 2016), que propone soluciones prácticas para comunidades con limitaciones en infraestructura hídrica. Este documento destaca el potencial del uso de aguas lluvias como fuente alternativa, y plantea criterios técnicos y sociales para su implementación.

Por otro lado, Rivera-Contreras (2018) evaluó modelos de gestión de proyectos rurales de agua potable y saneamiento básico en los Llanos Orientales, analizando 200 iniciativas institucionales. Su estudio resalta la importancia de la articulación entre actores locales, la sostenibilidad financiera y el acompañamiento técnico como factores clave para el éxito de los proyectos.

Finalmente, el trabajo de Quintero Bonilla (2022) sobre Sistemas de tratamiento para la potabilización del agua en Colombia presenta un análisis comparativo de tecnologías aplicadas en contextos rurales, incluyendo filtración lenta, cloración y sistemas modulares. Este estudio ofrece insumos técnicos valiosos para evaluar alternativas viables en zonas como Puerto Bogotá.

4.2 MARCO TEÓRICO

Este estudio se fundamenta en tres enfoques clave: la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH), el desarrollo sostenible y la evaluación de proyectos de ingeniería. Estos marcos permiten abordar el problema desde una perspectiva técnica, social y ambiental, articulando conceptos esenciales para el análisis y la formulación de soluciones.

La GIRH plantea una visión holística del manejo del agua, considerando la interacción entre ecosistemas, comunidades e instituciones. Según García y Rodríguez (2020), este enfoque promueve la equidad en el acceso al recurso, la sostenibilidad ambiental y la participación comunitaria en la toma de decisiones. En el contexto rural, la GIRH permite adaptar soluciones a las condiciones locales, reconociendo la diversidad territorial y cultural.

El desarrollo sostenible, en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), busca garantizar el acceso equitativo al agua sin comprometer los recursos para futuras generaciones (Organización de las Naciones Unidas, 2015). El ODS 6, en particular, orienta la formulación de proyectos que aseguren agua limpia y saneamiento, integrando criterios de eficiencia, inclusión y resiliencia.

La evaluación de proyectos de ingeniería incorpora dimensiones técnicas, económicas y sociales. Hernández, Fernández y Baptista (2014) destacan la importancia de definir variables claras, aplicar metodologías rigurosas y considerar indicadores como la eficiencia hidráulica, la calidad del agua, el costo-beneficio y la aceptación comunitaria. Estos elementos permiten determinar la viabilidad y el impacto de las propuestas en contextos rurales.

Asimismo, se integran conceptos de ingeniería sanitaria como la captación superficial, los procesos de potabilización y la distribución eficiente (Quintero Bonilla, 2022). Estos aspectos técnicos son esenciales para diseñar soluciones adaptadas a las condiciones del corregimiento de Puerto Bogotá. La planificación participativa, como lo señala Vargas Moreno (2016), fortalece la sostenibilidad de los proyectos al involucrar activamente a las comunidades en su diseño y ejecución.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual establece los términos clave que orientan esta investigación, con el propósito de unificar criterios y evitar ambigüedades en la interpretación. Según Rivera (1998), es imprescindible comunicar los conceptos de manera clara y contextualizada, especialmente en estudios aplicados que involucran variables técnicas y sociales.

Captación de agua se refiere al proceso de recolección de agua desde fuentes naturales como ríos, quebradas o lluvias, para su posterior tratamiento y distribución. En zonas rurales, este proceso suele ser limitado por la infraestructura disponible, lo que afecta la calidad y continuidad del suministro (Vargas Moreno, 2016).

Tratamiento de agua implica la aplicación de procesos físicos, químicos y biológicos que permiten mejorar la calidad del agua y hacerla apta para el consumo humano. Las tecnologías evaluadas en este estudio incluyen filtración lenta, cloración y sistemas modulares, adaptadas al contexto rural (Quintero Bonilla, 2022).

Zona rural se define como un área con baja densidad poblacional, limitada infraestructura y acceso restringido a servicios básicos. Esta condición influye directamente en la viabilidad de los proyectos de agua, especialmente en términos de logística, cobertura y sostenibilidad (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

Viabilidad técnica hace referencia a la capacidad de implementar una solución desde el punto de vista de la ingeniería, considerando factores como disponibilidad de materiales, mano de obra local y condiciones geográficas.

Sostenibilidad se entiende como la capacidad de un proyecto para mantenerse en el tiempo sin agotar los recursos naturales ni generar impactos negativos. Este concepto es central en la formulación de propuestas que buscan equilibrio entre eficiencia, equidad y resiliencia.

Participación comunitaria es el involucramiento activo de los habitantes en el diseño, ejecución y seguimiento de los proyectos. Esta estrategia fortalece la apropiación, el mantenimiento y la sostenibilidad de las soluciones implementadas (García & Rodríguez, 2020).

Evaluación de proyectos implica el análisis sistemático de alternativas, considerando criterios técnicos, económicos y sociales. Este proceso permite seleccionar la opción más adecuada para cada contexto, garantizando pertinencia y efectividad.

4.4 MARCO LEGAL

Esta investigación se fundamenta en el marco normativo colombiano que regula el acceso al agua potable, la gestión ambiental y la formulación de proyectos en zonas rurales. Estas disposiciones jurídicas establecen los principios, derechos y responsabilidades que orientan la planificación y ejecución de soluciones hídricas sostenibles.

La Ley 142 de 1994 establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, incluyendo el suministro de agua potable. Define los derechos y deberes de los prestadores y usuarios, así como los criterios de calidad, continuidad y cobertura que deben cumplir los sistemas de abastecimiento (Congreso de la República de Colombia, 1994).

La Ley 99 de 1993 crea el Ministerio del Medio Ambiente y establece principios rectores de la gestión ambiental, como la participación ciudadana, la prevención del daño y la sostenibilidad. Estos principios son aplicables a proyectos de captación y tratamiento de agua, especialmente en contextos rurales (Congreso de la República de Colombia, 1993).

La Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Salud y Protección Social establece los requisitos de calidad del agua para consumo humano, incluyendo parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Esta norma es esencial para evaluar la efectividad de los sistemas propuestos (Ministerio de Salud y Protección Social, 2007).

El Decreto 1575 de 2007 regula el sistema de vigilancia de la calidad del agua, asignando responsabilidades a las autoridades sanitarias y ambientales para garantizar el seguimiento y control de los proyectos implementados (Presidencia de la República de Colombia, 2007).

El Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente establece normas para el uso, conservación y aprovechamiento del agua, incluyendo permisos de captación y criterios de sostenibilidad (Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables, 1974).

Finalmente, el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 incluye metas específicas relacionadas con el acceso al agua potable en zonas rurales, lo que respalda la pertinencia de esta investigación en el marco de las políticas públicas actuales (Departamento Nacional de Planeación, 2022).

4.5 MARCO GEOGRÁFICO

La presente investigación se desarrolla en el corregimiento de Puerto Bogotá, ubicado en el municipio de Guaduas, departamento de Cundinamarca, Colombia. Esta localidad se sitúa en la margen derecha del río Magdalena, dentro de la cuenca del río Alto Magdalena, una subregión de alta relevancia hídrica y ambiental para el país.

Puerto Bogotá limita al norte con el departamento de Caldas, al oriente con el resto del municipio de Guaduas, al occidente con el departamento del Tolima y el municipio de Honda, y al sur con Armero Guayabal. El río Magdalena actúa como frontera natural en varias de estas delimitaciones. La cercanía y expansión urbana entre Puerto Bogotá y Honda han generado una condición de conurbación, lo que influye en la dinámica territorial y en la gestión de servicios públicos.

La topografía del corregimiento es ondulada, con colinas y zonas bajas cercanas al cauce del río. Esta configuración facilita la captación de agua superficial, pero también incrementa la vulnerabilidad frente a inundaciones y deslizamientos. El clima tropical húmedo, con temperaturas entre 24 °C y 32 °C y precipitaciones superiores a 2.000 mm anuales, favorece la disponibilidad hídrica, aunque también plantea riesgos de contaminación por escorrentía y sedimentación.

Desde el punto de vista político-administrativo, Puerto Bogotá forma parte de la provincia del Bajo Magdalena. Su ubicación periférica respecto al casco urbano de Guaduas ha limitado históricamente la inversión en infraestructura básica, generando brechas en el acceso a servicios como el agua potable. La población se distribuye en sectores como La Playa, El Centro, La Estación y El Porvenir, con baja densidad y estructura dispersa, lo que dificulta la cobertura de redes convencionales y exige soluciones descentralizadas.

En cuanto a conectividad, el corregimiento cuenta con acceso terrestre por la vía nacional Guaduas–Honda y fluvial a través del río Magdalena. Esta ubicación estratégica facilita el transporte de materiales para proyectos, aunque también implica desafíos logísticos en temporadas de lluvia intensa. La cuenca del Alto Magdalena, que abarca territorios de Cundinamarca, Tolima y Huila, enfrenta problemas de contaminación, deforestación y uso inadecuado del suelo, que afectan la calidad del agua y la sostenibilidad de los ecosistemas.

Geoespacial mente, Puerto Bogotá se localiza en las coordenadas 5.0306° N y -74.7333° O, con una altitud aproximada de 260 metros sobre el nivel del mar y una extensión territorial de 4.5 km². Esta información ha sido verificada mediante herramientas como Google Earth Pro y el Geo portal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), lo que permite una delimitación precisa del área de estudio y facilita el análisis de los factores que inciden en el acceso al agua potable.

A continuación, se referencian con imágenes la ubicación y georreferenciación del corregimiento en mención:

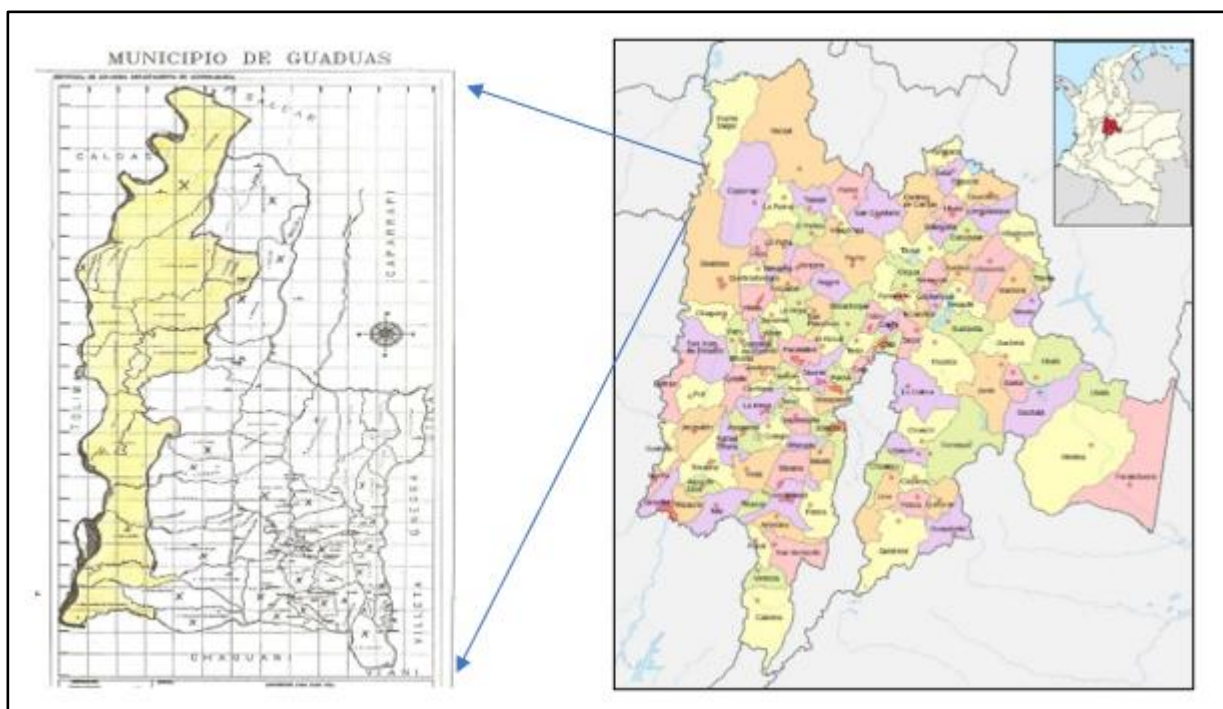


Ilustración 1 Mapa del país, Departamento de Cundinamarca y corregimiento de Puerto Bogotá

Autor: Google; Año: (sf) [sin fecha]; Fotografía. Edición mía. Fuente: Google



Ilustración 2 Georreferenciación de puerto Bogotá

Autor: Google Maps; Año: 2025; Fotografía. Edición mía. Fuente: Google Maps

4.6 MARCO DEMOGRÁFICO.

El presente estudio se enfoca en el corregimiento de Puerto Bogotá, municipio de Guaduas, Cundinamarca, ubicado en la cuenca del río Alto Magdalena. Las características demográficas de esta localidad inciden directamente en la problemática del acceso al agua potable, por lo que deben ser consideradas en la evaluación de proyectos de captación y tratamiento.

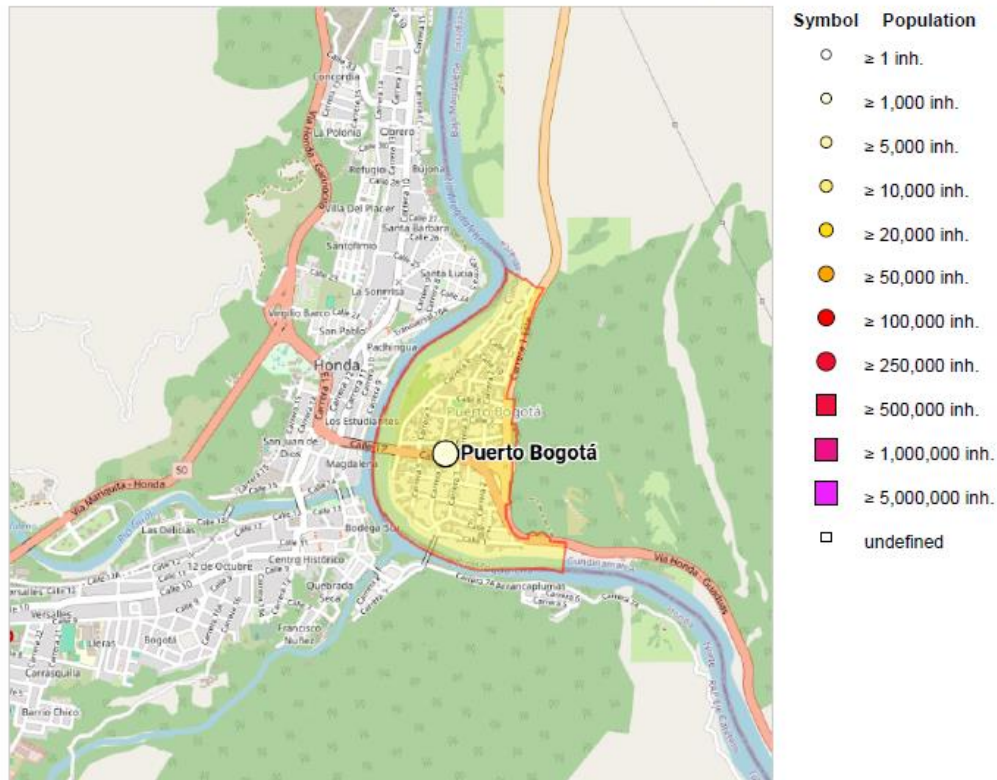
Según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2023) y estimaciones locales, Puerto Bogotá cuenta con aproximadamente 2.500 habitantes, distribuidos en núcleos familiares de entre 3 y 5 personas. La baja densidad poblacional y la estructura urbana dispersa dificultan la cobertura de servicios públicos como acueducto y alcantarillado, lo que exige soluciones descentralizadas y adaptadas a cada sector.

La población está compuesta principalmente por adultos jóvenes, personas mayores y una proporción significativa de niños y adolescentes. Esta distribución etaria genera una alta demanda de agua potable para consumo, higiene y actividades escolares, especialmente en instituciones educativas que carecen de infraestructura adecuada. El nivel educativo predominante es básico (primaria y secundaria), con bajos índices de acceso a educación superior, lo que limita la apropiación de tecnologías y prácticas de saneamiento.

Las actividades económicas se concentran en el comercio informal, la agricultura de subsistencia y servicios básicos, con ingresos limitados que restringen la capacidad de pago por servicios públicos. Además, se identifican sectores vulnerables como mujeres cabeza de familia, adultos mayores sin pensión y población infantil en riesgo nutricional, quienes son especialmente afectados por la falta de agua potable.

La presencia de enfermedades gastrointestinales y casos de mortalidad infantil reportados por el centro de salud local evidencian la urgencia de implementar soluciones efectivas. Aunque la comunidad reconoce la necesidad de mejorar el sistema de abastecimiento, también manifiesta desconfianza hacia proyectos anteriores que no han sido sostenibles.

Como señala Davis (2000), el análisis demográfico es el punto de partida para comprender las características sociales de una población y su evolución. En este caso, permite identificar sectores prioritarios, adaptar las soluciones técnicas a las condiciones reales de la comunidad y garantizar que los proyectos propuestos respondan a sus necesidades específicas.



© Thomas Brinkhoff,

https://citypopulation.de/en/colombia/cundinamarca/guaduas/25320003__puerto_bogot%C3%A1/

Ilustración 3 Estadísticas Dane

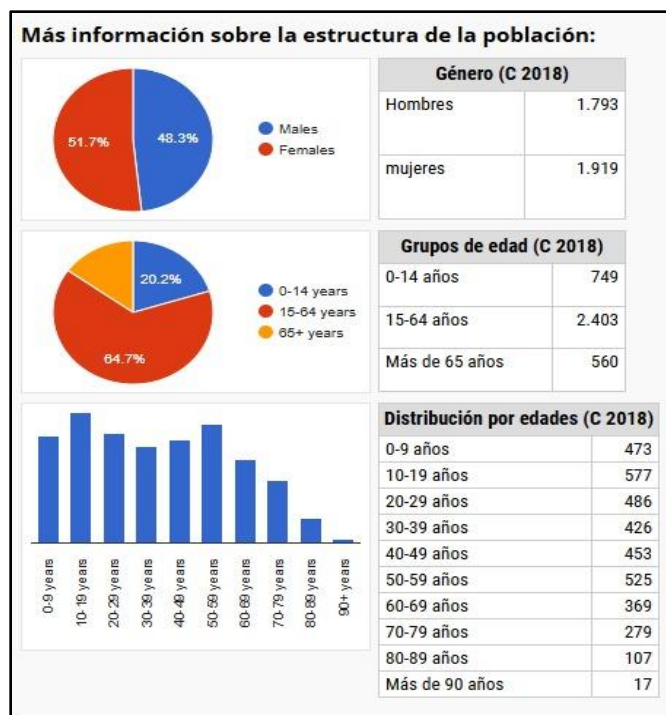


Ilustración 4 Estructura de la población

Autor: Google; Año: (sf) [sin Fecha]; Fotografía. Edición mía. Fuente: Google

5. DELIMITACIÓN

La presente investigación se delimita espacialmente al corregimiento de Puerto Bogotá, en el municipio de Guaduas, departamento de Cundinamarca, Colombia. Esta zona ha sido seleccionada por presentar condiciones representativas de las comunidades rurales de la cuenca del río Alto Magdalena, donde el acceso al agua potable es limitado y los sistemas de captación y tratamiento son ineficientes o inexistentes.

Según estudios de la Universidad Nacional de Colombia (González & Rodríguez, 2021), estas comunidades enfrentan una alta vulnerabilidad hídrica debido a la falta de infraestructura adecuada y a la débil gestión institucional. Desde el punto de vista temporal, el estudio se desarrolla entre los meses de enero y septiembre de 2025, periodo durante el cual se realiza la recolección de información, el análisis de datos y la formulación de propuestas.

Esta delimitación temporal permite concentrar los esfuerzos investigativos en un marco definido, facilitando la planificación y ejecución de las actividades metodológicas. Además, responde a la necesidad de generar resultados aplicables en el corto plazo, como lo sugieren investigaciones sobre gestión comunitaria del agua en zonas rurales (Martínez et al., 2020).

La delimitación temática se enfoca en la evaluación de proyectos de captación y tratamiento de agua, excluyendo otros componentes de la gestión integral del recurso hídrico como el saneamiento básico o la protección de cuencas. Esta decisión responde a la necesidad de abordar un problema específico que afecta directamente la salud pública y el bienestar de la comunidad. Según López & Restrepo (2019), la focalización temática permite una mayor profundidad analítica y facilita la formulación de soluciones técnicas viables.

En cuanto a la población objeto de estudio, se delimita a los habitantes del corregimiento de Puerto Bogotá, estimados en aproximadamente 2.500 personas, con especial atención a los sectores más vulnerables, como niños, adultos mayores y mujeres cabeza de familia. Esta delimitación poblacional permite obtener información contextualizada y representativa para el análisis, tal como lo recomiendan estudios de intervención en comunidades rurales con acceso limitado al agua (Pérez & Castaño, 2018).

La delimitación metodológica se establece mediante el uso del método de estudio de caso, centrado exclusivamente en Puerto Bogotá como unidad de análisis. Se emplean técnicas cualitativas como entrevistas semiestructuradas, observación directa y revisión documental, lo que permite una comprensión profunda del fenómeno en su contexto real. Esta estrategia metodológica ha sido ampliamente utilizada en investigaciones sobre acceso al agua en comunidades rurales de América Latina (Torres & Monroy, 2020).

La delimitación también considera las condiciones geográficas, sociales y técnicas del corregimiento, excluyendo zonas urbanas o rurales con características significativamente diferentes. Esta decisión permite adaptar las propuestas a las realidades locales y evitar generalizaciones que podrían distorsionar los resultados. Como señalan Ramírez & Gómez (2022), la contextualización territorial es clave para garantizar la pertinencia y sostenibilidad de los proyectos de agua en zonas rurales.

Desde una perspectiva epistemológica, la delimitación responde a la necesidad de situar el problema en un contexto definido y homogéneo, lo que permite establecer relaciones causales entre las variables estudiadas. Esta estrategia metodológica está respaldada por autores como Arboleda & Mejía (2021), quienes destacan la importancia de acotar el campo de estudio para lograr profundidad analítica y aplicabilidad de los resultados.

En conclusión, la delimitación espacial, temporal, temática, poblacional y metodológica de esta investigación permite abordar el problema de manera específica, facilitando el desarrollo de propuestas viables y contextualizadas. Esta estrategia garantiza que el estudio se mantenga enfocado y que los resultados obtenidos sean pertinentes y aplicables a la comunidad de Puerto Bogotá, contribuyendo así a mejorar el acceso al agua potable en zonas rurales de Colombia.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

Este trabajo escrito se desarrollará bajo un enfoque descriptivo de campo, con apoyo de técnicas cualitativas y documentales. El objetivo es evaluar alternativas de captación y tratamiento de agua en el corregimiento de Puerto Bogotá, municipio de Guaduas (Cundinamarca), considerando su ubicación estratégica dentro de la cuenca del río Alto Magdalena y las condiciones particulares que afectan el acceso al agua potable.

Se empleará el método de estudio de caso, centrado exclusivamente en Puerto Bogotá como unidad de análisis. Para la recolección de información se utilizarán entrevistas semiestructuradas dirigidas a habitantes, líderes comunitarios y funcionarios locales, con el fin de obtener percepciones directas sobre la problemática.

También se aplicarán encuestas breves para caracterizar el uso del agua en los hogares, y fichas de observación para registrar el estado de la infraestructura existente. Además, se realizará una revisión documental de informes técnicos, normativas vigentes y estudios previos relacionados con el abastecimiento de agua en zonas rurales.

La población objeto de estudio está conformada por los aproximadamente 2.500 habitantes del corregimiento. La muestra será no probabilística por conveniencia, seleccionando participantes de distintos sectores sociales y económicos para asegurar diversidad en las respuestas. Esta estrategia permitirá obtener información contextualizada y representativa para el análisis.

El tipo de investigación será aplicada, ya que busca generar propuestas concretas de solución al problema identificado. También se considera explicativa, al pretender establecer relaciones causales entre la eficiencia del sistema de acueducto y sus efectos en la salud, la economía y el bienestar de la población.

Para garantizar la validez, se diseñarán instrumentos con base en referentes teóricos y se aplicarán pruebas piloto. La confiabilidad se asegurará mediante triangulación de fuentes: entrevistas, observación directa y revisión documental, lo que permitirá contrastar la información y fortalecer la credibilidad de los hallazgos.

7. RECURSOS

7.1 HUMANO

El proyecto contará con los desarrolladores del trabajo escrito, estudiantes del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia, responsables del diseño metodológico, recolección de datos y análisis técnico. Se incluye el acompañamiento de un docente asesor con experiencia en proyectos de agua y saneamiento, quien orienta y valida el proceso investigativo.

Durante el trabajo de campo se contará con el apoyo de líderes comunitarios y habitantes del corregimiento de Puerto Bogotá, quienes facilitarán el acceso a la comunidad, aportarán información clave y contribuirán a la contextualización del problema. No se contempla la participación de personal técnico externo, dado el carácter académico y local del estudio.

7.2 MATERIAL

Los recursos materiales incluyen encuestas impresas, guías de entrevista y fichas de observación. Para el registro de información se utilizarán dispositivos móviles personales con cámara y grabadora de voz, y computadores portátiles disponibles en la universidad.

El análisis de datos se realizará con software básico como Microsoft Word 365 y Excel 2021. No se emplearán equipos de laboratorio ni instrumentos de medición fisicoquímica, ya que el estudio no contempla pruebas de calidad del agua. El transporte se realizará mediante medios públicos o vehículos personales, y se contará con acceso a salas de trabajo, biblioteca y laboratorios de informática de la universidad. El material de oficina será gestionado por los investigadores según las necesidades del proyecto.

La Universidad Piloto de Colombia facilitará el acceso a espacios físicos como salas de trabajo, biblioteca y laboratorios de informática, donde se desarrollarán las actividades de análisis y redacción del documento final. El material de oficina requerido (hojas, bolígrafos, carpetas) será gestionado por los investigadores, en función de las necesidades básicas del proyecto y dentro de los recursos disponibles para estudiantes en proceso de grado.

8. DESARROLLO PROPUESTA

1. Fundamentación Del Problema.

El acceso limitado al agua potable en el corregimiento de Puerto Bogotá representa una problemática estructural que afecta la salud, el bienestar y el desarrollo de la comunidad. Las condiciones geográficas, la dispersión poblacional y la falta de infraestructura adecuada han generado una vulnerabilidad hídrica persistente. Esta situación se agrava por la ausencia de proyectos sostenibles de captación y tratamiento, lo que motiva la necesidad de evaluar alternativas técnicas y sociales adaptadas al contexto rural.

2. Hipótesis De Trabajo

Se plantea que la implementación de un sistema de captación y tratamiento de agua, diseñado con base en las condiciones locales y con participación comunitaria, puede mejorar significativamente la calidad del agua disponible, reducir enfermedades relacionadas con su consumo y fortalecer la gestión territorial del recurso hídrico.

3. Análisis Del Contexto

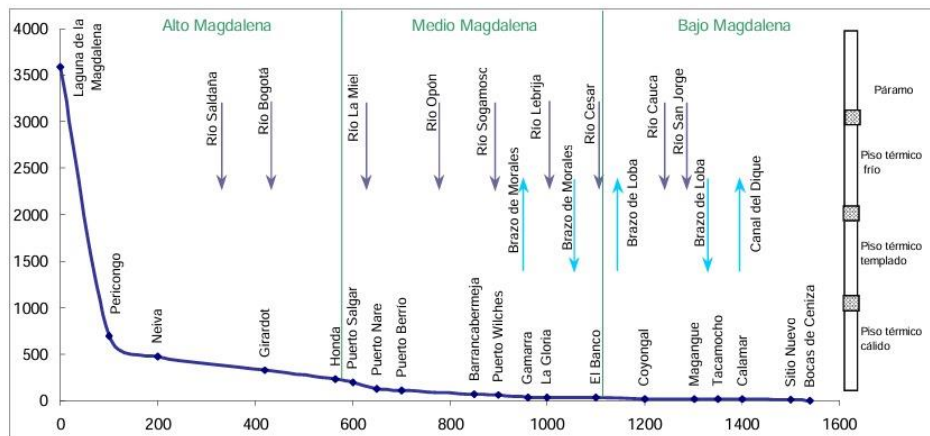
El corregimiento se ubica en una zona estratégica de la cuenca del río Alto Magdalena, con acceso potencial a fuentes superficiales de agua. Sin embargo, la topografía ondulada, el clima tropical húmedo y la falta de redes convencionales dificultan la implementación de soluciones centralizadas. La estructura social, marcada por sectores vulnerables y bajos ingresos, exige propuestas de bajo costo, alta eficiencia y fácil mantenimiento.

Contexto geográfico y ambiental

3.1. Ubicación y contexto físico

- **Cuenca y escala.** El río Magdalena recorre una cuenca amplia cuyo alcance incluye la zona alta, media y baja; las condiciones en el Alto/Medio Magdalena presentan variación altitudinal y climática notable que condiciona caudales, sedimentos y régimen de lluvias. (Atlas Cuenca Magdalena; ANLA).

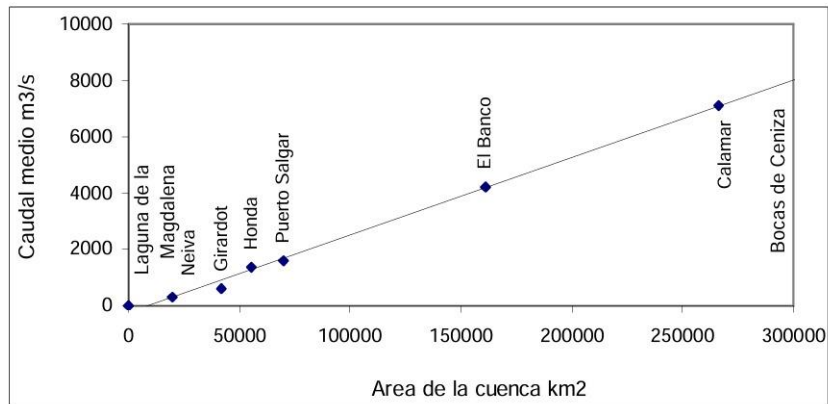
Perfil del río Magdalena



Fuente: Adaptado de CORMAGDALENA-IDEAM, 2001, y datos de perfil longitudinal suministrados por CORMAGDALENA.

Ilustración 5 Perfil del río Magdalena

Variación del caudal respecto al área en la cuenca del Magdalena



Fuente: CORMAGDALENA-IDEAM, 2001.

Ilustración 6 Variación del caudal

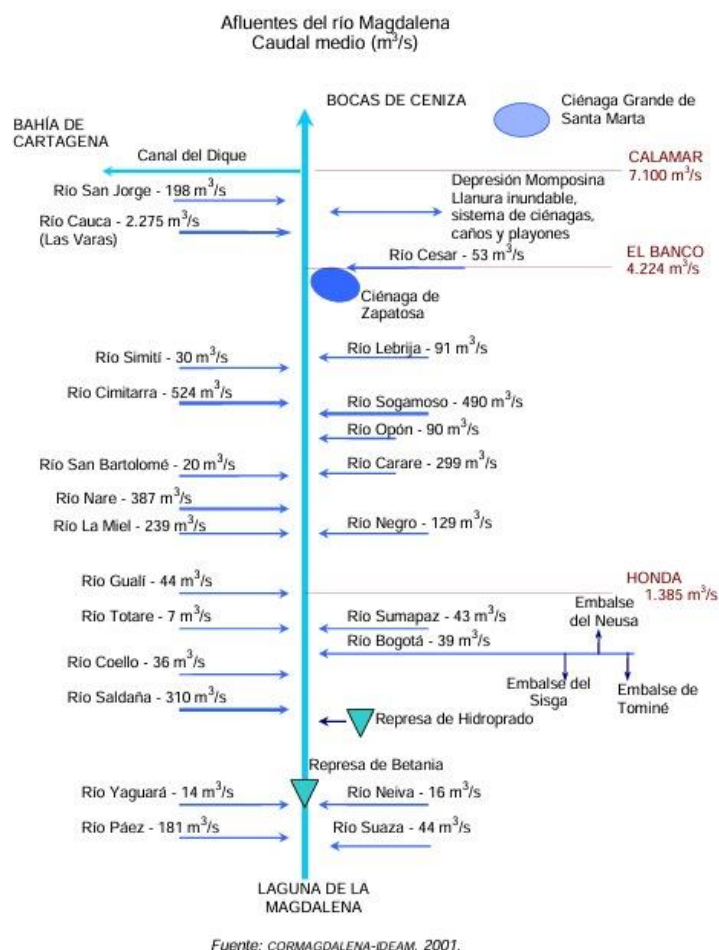


Ilustración 7 Afluentes que inciden en el Río Magdalena

- **Puerto Bogotá (corregimiento de Guaduas, Cundinamarca).** Es un asentamiento ribereño del Magdalena con población rural y actividades productivas ligadas a la ribera; la documentación local indica la presencia de captaciones domésticas y la existencia de estudios preliminares de caracterización del agua cruda en la zona. (Municipio Guaduas; monografías universitarias locales).

3.2. Clima y régimen hídrico

- El área presenta régimen de lluvias con variabilidad estacional (régimenes bimodales en buena parte de la cuenca alta y media) y altas variaciones de caudal asociadas a eventos convectivos y a la dinámica andina-magdalense; esto influye en la turbidez y en la disponibilidad de recursos superficiales. (CAR; Atlas).

3.3. Calidad del agua y factores de presión

- Estudios locales (monografías y tesis) han documentado problemas de calidad microbiológica y turbidez en tramos del Magdalena cercanos a captaciones rurales, asociados a descargas domésticas, sedimentación y actividades ribereñas. Esto condiciona la selección de procesos de tratamiento y la necesidad de protección de cabeceras/captaciones. (Ospina/UNIPILOTO; INCA 2023).

Variables geográficas y ambientales que inciden (caracterización técnica)

A continuación, se listan y explican las variables que deben caracterizarse para diseñar captación y tratamiento adecuados:

1. **Topografía y altitud** — define energía potencial, posibilidad de captaciones por gravedad, y requerimientos de bombeo. (datos altitudinales de la cuenca: 800–3.600 m en tramos altos; variaciones locales).
2. **Geomorfología y materiales del lecho** — sedimentos finos (limos, arcillas) incrementan turbidez y desgaste de tomas; lechos rocosos favorecen pozos/filtración por banco. (Atlas Cuenca Magdalena).
3. **Régimen de caudales y estacionalidad** — pico de escorrentías durante épocas de lluvia que elevan turbidez y riesgo de arrastre de contaminantes; exige diseño de captaciones que toleren variaciones (intake flótante, tomas de fondo con cámara de desarenado).
4. **Calidad del agua cruda** — parámetros críticos: turbidez, sólidos suspendidos, demanda bioquímica/oxígeno (DBO), carga microbiológica (E. coli como indicador), metales o agroquímicos según uso del suelo aguas arriba. Documentos locales muestran presencia de indicadores microbiológicos por descargas domésticas.
5. **Usos del suelo y presiones antrópicas** — actividades agrícolas, disposición de residuos, asentamientos ribereños y vertimientos urbanos y rurales. Estas presiones determinan la necesidad de tratamiento más robusto (coagulación, desinfección) o medidas de protección de la captación.
6. **Accesibilidad y condiciones socio-institucionales** — capacidad técnica y económica local condicionan elección tecnológica (soluciones de bajo mantenimiento y energía mínima preferibles para zonas rurales). (informes CAR / municipal).

4. Evaluación Técnica Y Social

A partir del trabajo de campo, se identificaron puntos críticos en el sistema actual de abastecimiento, incluyendo fallas en la captación, almacenamiento y distribución. Se analizaron alternativas como la filtración lenta, la cloración comunitaria y los sistemas modulares, evaluando su viabilidad técnica, económica y social. La participación de líderes comunitarios permitió validar las propuestas y priorizar las necesidades reales de la población.

Metodología propuesta

Objetivo metodológico: caracterizar condiciones geográficas y ambientales que inciden en la captación y tratamiento, mediante síntesis documental y mediciones de campo representativas para el municipio/corregimiento de Puerto Bogotá.

A. Revisión documental (línea base)

- Inventario de estudios previos (tesis, monografías, informes CAR/ANLA, INCA 2023, atlas cuenca).
- Mapas de uso del suelo (fuentes: IDE-Cundinamarca, imágenes satelitales), series de precipitación y registros hidrométricos disponibles. (ANLA / CAR / IDE).

B. Trabajo de campo (protocolo recomendado — muestra mínima y temporización)

Diseño muestra: seleccionar 4–6 puntos representativos a lo largo del tramo de interés: (1) aguas arriba inmediato a la captación prevista; (2) en la misma captación; (3) punto aguas abajo cercano a asentamientos; (4) afluente que aporte carga urbana/agropecuaria; (5) un pozo o punto de infiltración si existe.

Temporalidad: muestreos quincenales durante 3 meses en temporada seca y 3 meses en temporada húmeda (o, si el tiempo es limitado, muestreos en máximas y mínimas estacionales). Esto captura variabilidad estacional.

Parámetros a medir (prioritarios):

- *Físico-químicos:* temperatura, conductividad, pH, turbidez (NTU), sólidos suspendidos totales (SST), color.
- *Químicos:* DBO₅, DQO (si es posible), nitratos, amonio, fosfatos, presencia de metales (Pb, As, Cd) según contexto.
- *Microbiológicos:* recuento de coliformes totales, coliformes fecales/E. coli (indicador de contaminación fecal).
- *Hidrológicos:* caudal puntual (m³/s) con aforo puntual o flujo estimado; nivel y velocidad superficial.
- *Sedimentología:* granulometría del lecho y carga de sedimentos (SS) para evaluar necesidad de desarenador.
- *Uso del suelo y observación contextual:* registros fotográficos y georreferenciados, identificación de fuentes puntuales de contaminación (vertimientos, puntos de cría animal, balsas/agroquímicos).

Metodología de muestreo y cadena de custodia: seguir protocolos de muestreo estándar (botellas estériles para microbiología; conservación en hielo y análisis de laboratorio acreditado para parámetros químicos). Incluir formulario de campo con coordenadas GPS, hidrología (nivel y caudal estimado), fecha/hora, precipitación reciente. Referenciar GDWQ (WHO) para límites y manejo.

Toma de datos geoespaciales: obtener y procesar imágenes satelitales (Sentinel/ Landsat) y mapas de pendientes/uso del suelo para análisis de influencia de cuencas pequeñas y subcuencas.

Interpretación técnica: implicaciones para captación y tratamiento

A partir de la caracterización propuesta, las decisiones de diseño se orientan por:

1. **Turbidez y sedimentos altos (episódicos):** si la turbidez crónica o durante lluvias sobrepasa valores que permitan filtración directa (p. ej. >30 NTU), se requiere

pretratamiento: rejillas, desarenador/decanter y coagulación ligera (pH controlado) antes de filtros. (WHO / IRC SSF guidance).

2. **Contaminación microbiológica (coliformes/E. coli presente):** imprescindible **desinfección** con cloro (mantener residual) y/o combinación con filtros biológicos (slow sand filters) para reducir patógenos. Las recomendaciones de la OMS señalan la importancia del control microbiológico y gestión del riesgo (Water Safety Plans).
3. **Variación estacional de caudales:** se deben adoptar medidas de diseño para tomas (intakes flotantes o múltiples bocas) y tanques de regulación que permitan operar tratamiento aun con fluctuación de caudal.
4. **Disponibilidad energética limitada:** priorizar opciones de **bajo consumo y bajo mantenimiento:** filtros de lenta filtración (SSF), decantación/gravedad, desinfección por cloración; considerar SODIS/filtración doméstica como complemento de punto de uso en comunidades dispersas. Reforzar mantenimiento comunitario y formación. (Revisiones SSF: Maiyo 2023; WHO GDWQ).
5. **Riesgos por actividad antrópica aguas arriba (agroquímicos):** si existen cultivos con uso intensivo, considerar análisis de pesticidas y evaluar necesidad de procesos adicionales (adsorción en carbón activado, tratamiento avanzado) según resultados. (ANLA / estudios locales sobre cuenca).

Opciones tecnológicas recomendadas (por escala y calidad del agua)

A. Para comunidades pequeñas (100–1.500 hab) con agua superficial moderada (turbidez baja-moderada, carga microbiológica):

- **Captación:** toma de superficie con cámara y rejillas; prefiltro/desarenador.
- **Sistema de tratamiento centralizado simple:** decantación + filtro de lenta filtración (SSF) en lecho de arena ($0.1\text{--}0.2\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ diseño conservador) + cloración de contacto para garantizar residual. SSF es adecuada para contextos rurales por bajo costo operativo y buena remoción microbiológica si se mantiene correctamente. (IRC / revisiones SSF).

B. Para captaciones con turbidez alta y fluctuante (zonas con altas escorrentías):

- **Pretratamiento obligatorio:** coagulación-floculación (jar test para dosis) y sedimentación rápida, seguido de filtración (rápida o lenta, según disponibilidad de área). La coagulación reduce carga de SS y permite posteriores filtros rápidos si el espacio es limitado. (WHO GDWQ).

C. Para comunidades dispersas o con recursos limitados:

- **Punto de uso y soluciones descentralizadas:** filtros domésticos (cerámicos, biosand doméstico), cloración en casa, SODIS para pequeñas cantidades. Útil como medida interina o complementaria. (WHO, reviews SSF).

D. Opciones complementarias para sostenibilidad: sistemas de energía solar para bombeo o dosificación de coagulante, protección de captaciones con vegetación ribereña, prácticas de manejo de cuencas (medidas naturales para reducir sedimentos). (CAR / iniciativas locales de gestión).

Plan de implementación recomendado (pasos técnicos y sociales)

1. **Fase documental y cartográfica** (1 mes): consolidar datos hidrológicos, mapas de uso del suelo, estudios previos (ANLA, CAR, monografías locales).
2. **Trabajo de campo (muestra y laboratorio)** (3–6 meses según alcance): muestreos estacionales, análisis laboratorial de parámetros listados, aforos puntuales.
3. **Análisis de resultados y selección tecnológica** (1 mes): definir esquema de captación y proceso de tratamiento según resultados (tarifa de filtración requerida, necesidad de coagulación, dosis de desinfección).
4. **Piloto y validación comunitaria** (3–6 meses): construir unidad piloto (p. ej. SSF + cloración) y evaluar operación, aceptación, costos y eficacia; usar indicadores pre/post (reducción de coliformes, turbidez, satisfacción).
5. **Escalado y transferencia**: plan de operación y mantenimiento comunitario, manuales, capacitación y aseguramiento de suministro químico/insumos. (WHO water safety plan approach).

Indicadores de éxito / seguimiento post-implementación

- % reducción de E. coli en agua tratada respecto al crudo.
- % reducción de turbidez (NTU).
- Disponibilidad del servicio (horas/día).
- Sostenibilidad económica: costo operativo por m³ y capacidad local de mantenimiento.
- Percepción comunitaria y adopción de buenas prácticas de gestión del recurso.

5. Propuesta De Solución

Se propone un sistema descentralizado de captación y tratamiento, basado en la captación superficial del río Magdalena, con prefiltrado, almacenamiento en tanques elevados y tratamiento por cloración. El diseño incluye componentes de educación comunitaria, gestión participativa y mantenimiento local. Esta solución busca ser replicable en otras zonas rurales de la cuenca, con adaptaciones según el entorno.

Condiciones locales relevantes (síntesis documental corta)

- Estudios y monografías sobre Puerto Bogotá documentan problemas de calidad microbiológica y deficiencias en infraestructura de conducción (tuberías antiguas), lo que exige protección de captaciones y tratamientos con desinfección residual.
- Informes de la CAR y estudios sobre la cuenca Magdalena muestran variabilidad estacional de caudales y episodios de elevadas tasas de sedimentos/turbidez en épocas de lluvia. Estas condiciones afectan la eficiencia de filtros y la necesidad de pre-tratamiento.

Criterios usados para evaluar tecnologías

Cada opción se evalúa según estos criterios técnicos y de sostenibilidad:

- Eficiencia de remoción (turbidez, patógenos, materia orgánica).
- Robustez frente a variaciones de caudal y turbidez (estacionalidad).
- Requerimientos energéticos y complejidad operativa.
- Disponibilidad de insumos y repuestos locales.
- Costos de inversión y operación (CAPEX / OPEX).
- Impacto ambiental (residuos, lodos) y posibilidad de integración con medidas de gestión de cuenca.
- Aceptación y capacidad de mantenimiento por la comunidad local.

Tecnologías de captación (opciones y recomendaciones técnicas)

Captación superficial — tipos y criterios de diseño

- **Toma lateral con cámara y rejillas:** adecuada si se dispone de tramo estable sin gran presencia de sedimentos gruesos; requiere cámara de toma protegida y rejillas limpiables.
- **Toma flotante (boca flotante):** recomendable en ríos con variación de nivel; reduce entrada de sedimentos superficiales y facilita operación en bajantes y crecidas.
- **Toma de fondo con cámara y desarenador:** cuando predominan sedimentos, una toma con cámara y cámaras de desarenado (pre-sedimentador) reduce carga de sólidos hacia la planta.

- **Pozos filtrantes / captación subálvea:** técnica de protección natural que extrae agua por filtración a través de materiales del lecho; útil si el lecho es permeable y la contaminación superficial es alta.
Recomendación para Puerto Bogotá: priorizar tomas protegidas con pre-desarenador y diseñar toma flotante o cámara según variabilidad de nivel; evaluar potencial de pozos filtrantes si el sustrato local lo permite y si solicitudes microbiológicas lo justifican. (Diseños deben considerar aforos estacionales).

Tecnologías de potabilización aplicables (comparación técnica)

A continuación, se describen las tecnologías de tratamiento más aplicables en contextos rurales del Alto Magdalena, con pros/cons técnicos y criterios de sostenibilidad.

Slow Sand Filters (SSF) — Filtros de lenta filtración

Descripción: lecho de arena con biocapa (schmutzdecke) que remueve materia particulada y reduce carga microbiológica mediante procesos físicos y biológicos.

Eficiencia: alta para turbidez moderada y eliminación de bacterias si se opera correctamente; no requiere químicos continuos.

Pros: bajo consumo energético, bajo mantenimiento técnico (capacitación comunitaria), buena sostenibilidad; operación sencilla; costos operativos reducidos.

Contras / limitaciones: sensibilidad a turbidez muy elevada (requiere pretratamiento/coagulación); requiere área de terreno y tiempo de asentamiento para la biocapa en puesta en marcha.

Adecuación para Puerto Bogotá: opción preferente para sistemas comunitarios centralizados con turbidez baja-moderada. Complementar con pre-tratamiento si turbidez estacional alta.

Coagulación-Floculación + Clarificación + Filtración rápida

Descripción: proceso convencional (coagulante → floculación → sedimentación → filtración rápida → desinfección).

Eficiencia: alta para turbidez elevada y reducción de materia orgánica; adecuada cuando episodios de turbidez son frecuentes.

Pros: maneja turbidez variable, produce agua clara; robustez frente a eventos de arrastre de sedimentos.

Contras: requiere insumos (coagulantes), dosificación controlada, mayor complejidad operativa y energía (mezcladores, bombas), gestión de lodos.

Adecuación para Puerto Bogotá: recomendable cuando los muestreos muestren turbidez crónica alta o picos estacionales; puede combinarse con SSF aguas abajo (sistema híbrido) para mejorar eficiencia y reducir consumo químico.

Desinfección: cloración (hipoclorito o cloro gas)

Descripción: desinfección residual química ampliamente usada.

Eficiencia: muy eficaz contra bacterias si se asegura dosis y tiempo de contacto; económico.

Pros: sencillo de operar, provee residual en red y previene re-contaminación en tuberías.

Contras: requiere abastecimiento de químicos y control de dosis; formación de subproductos si presencia de materia orgánica elevada.

Adecuación: obligatorio como parte de sistemas comunitarios para control microbiológico; se recomienda usar hipoclorito con dosificador y control de residual (0.2–0.5 mg/L).

Filtración doméstica / punto de uso (cerámica, biosand doméstico, SODIS)

Descripción: soluciones descentralizadas de bajo costo para viviendas dispersas.

Pros: bajo CAPEX, implementable rápidamente, reduce riesgo inmediato.

Contras: dependen del uso correcto por la comunidad; no sustituyen planta central cuando existe obligación de servicio público.

Adecuación: muy pertinente como medida complementaria o para poblaciones dispersas en Puerto Bogotá.

Tratamientos avanzados (carbón activado, ósmosis inversa)

Descripción: remoción de micropolutantes, pesticidas y compuestos orgánicos.

Pros: altamente eficaces para contaminantes específicos.

Contras: alto costo, demandas energéticas y complejidad operacional y de gestión de residuos.

Adecuación: solo si análisis muestran presencia significativa de pesticidas/metales que superen estándares — caso poco probable como primera línea, pero a considerar tras muestreo.

Diseño recomendado (solución preferente por escalas y sostenibilidad)

Sistema comunitario centralizado (100–2.000 hab — típico rural consolidado)

Esquema sugerido (prioritario por equilibrio eficiencia–sostenibilidad):

1. Captación protegida con cámara y pre-desarenador (o toma flotante según régimen de caudal).
2. Pretratamiento: cámara de sedimentación y/o coagulación ligera (según turbidez) — jar-test para dosificación óptima.
3. Filtros de lenta filtración (SSF) dimensionados según caudal de diseño (ver Anexo técnico si lo deseas).
4. Cloración de contacto con dosificación automática y control de residual.
5. Tanques de almacenamiento y red protegida (renovación de tuberías si están degradadas — nota: Gobernanza local ya inició recambio de tuberías en Puerto Bogotá).

Justificación: la combinación SSF + cloración ofrece bajo consumo energético, baja dependencia de insumos químicos continuos (salvo cloro), buena remoción bacteriológica y aceptable relación costo-beneficio para contextos rurales; la coagulación se reserva a episodios o zonas con alta turbidez.

Solución descentralizada / emergencia / poblaciones dispersas

- Filtros domésticos (cerámica o biosand doméstico) + cloración en puntos de entrega; campañas de educación y kits de mantenimiento.

Consideraciones de sostenibilidad ambiental y de operación

- **Gestión de lodos y residuos de coagulantes:** si se aplica coagulación, plan de manejo de lodos y disposición segura (compostaje si apropiado) para minimizar impacto ambiental.
- **Energía renovable:** considerar bombeo solar para captación o dosificación si la red eléctrica es inestable; reduce OPEX y huella de carbono.
- **Protección de cuenca:** medidas de conservación de ribera, control de vertimientos domésticos y manejo de escorrentías reducen la carga de sustratos y mejoran eficiencia del tratamiento.
- **Capacitación y gobernanza:** establecer manuales, plan de mantenimiento, y capacitación a operadores o JAC (Junta de Acción Comunal); sin esto, incluso tecnologías simples fallan por mal mantenimiento.

Plan mínimo de muestreo y monitoreo operativo (básico)

- **Antes de diseño:** 6–8 muestreos representativos (seca + lluvia) para turbidez (NTU), coliformes totales y fecales/E. coli, DBO5 y metales si hay actividades agrícolas.
- **Operacional:** medición diaria de turbidez y nivel en tanque, control de residual de cloro 3×/semana, análisis microbiológico mensual en laboratorio acreditado.
- **KPIs simples:** % cumplimiento de residual de cloro; % muestras sin E. coli; disponibilidad del servicio (h/día); volumen producido vs demanda.

Recomendaciones prácticas inmediatas para Puerto Bogotá (prioridad de actuación)

1. **Inventario y muestreo rápido (fase 0):** ejecutar muestreos microbiológicos y de turbidez en 4 puntos clave (aguas arriba, captación, aguas abajo, influencia urbana) en dos momentos (seca/lluvia).
2. **Proteger la captación** (cámara, rejillas, desarenador) como medida de corto plazo.
3. **Piloto SSF + cloración** en escala reducida (1–2 m³/h) para validar rendimiento, aceptación y costos.
4. **Capacitación y plan de mantenimiento** con la comunidad y la entidad prestadora (manuales, plan de repuestos, control de dosificadores).

6. Aplicabilidad Y Sostenibilidad.

La propuesta se articula con el ODS 6 – Agua limpia y saneamiento, y responde a los lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo. Su implementación puede mejorar la salud pública, reducir la carga de trabajo doméstico y fortalecer la resiliencia comunitaria. La sostenibilidad se garantiza mediante la apropiación local, el uso de materiales disponibles y la capacitación de actores comunitarios.

Viabilidad técnica

Fuente y captación

- Dada la ubicación en la cuenca, se debe verificar caudal mínimo, variabilidad estacional, turbidez durante lluvias y accesibilidad de la toma. Las captaciones superficiales deben incorporar protección, rejillas y desarenador ante posibles arrastres de sedimentos.
- El diseño debe contemplar una cámara de toma o un pozo/infiltración si el lecho es estable, con tubería adecuada y depósitos de regulación.
- Si los datos de campo muestran turbidez alta o fluctuaciones extremas, el sistema de captación debe dimensionarse para cumplir con tratamiento de pre-sedimentación y, de ser necesario, coagulación.

Tratamiento y distribución

- Para un entorno rural como Puerto Bogotá, con recursos limitados y personal técnico probable reducido, tecnologías de tratamiento de bajo mantenimiento como filtros de lenta filtración (SSF) + cloración residual son técnicamente viables. Estudios en Colombia muestran que los sistemas rurales se sustentan más cuando la complejidad operativa es moderada. (Colmenares-Cruz et al., 2024)
- Si los valores de turbidez o contaminantes son críticos, se requiere tratamiento ampliado (coagulación-floculación, sedimentación rápida, filtración rápida) lo que aumenta inversión, requerimientos técnicos y operación.
- La distribución y red de agua potable debe considerar la geografía de Puerto Bogotá (posibles desniveles, longitudes de tubería, puntos de consumo), garantizando presión adecuada, renovación y control de pérdidas.

Mantenimiento, operación y relevancia del diseño modular

- El diseño técnico debe incluir mantenimiento preventivo, repuestos locales, capacitación de operadores comunitarios, monitoreo y puntos de control.
- Debe estar previsto un módulo piloto o fase inicial que permita validar la solución técnica y escalar posteriormente.

Viabilidad técnica resumida

Ventajas: existen tecnologías probadas para contextos rurales en Colombia; la fuente de agua si está adecuadamente identificada puede ser viable; distribución comunitaria es factible.

Desafíos: variabilidad estacional del recurso, calidad del agua bruta, capacidad de mantenimiento, coste de tratamiento si se requiere tecnología compleja.

Viabilidad social

Gobernanza comunitaria

- En zonas rurales colombianas, los sistemas comunitarios basados en organizaciones locales (Juntas de Acción Comunal, acueductos comunitarios) son la norma. La literatura destaca que la sostenibilidad de estos sistemas depende de la **capacidad organizativa, transparencia y participación comunitaria**. (Domínguez-Rivera et al., 2016)
- Por tanto, para Puerto Bogotá el modelo debe diseñarse con participación desde el inicio: diagnóstico comunitario, talleres de sensibilización, definición de tarifas o contribuciones, establecimiento de roles de operación y vigilancia.

Aceptación y cultura del agua

- La población debe reconocer la necesidad del tratamiento, entender su funcionamiento y colaborar con mantenimiento. Por ejemplo, en Colombia los proyectos rurales que han incluido capacitación y participación muestran mejor operación sostenible. (Smits, 2013)
- La equidad y accesibilidad son importantes: asegurar que todos los estratos

Economía mínima y tarifas operativas

- Aunque la comunidad suele aportar trabajo o recursos reducidos, debe establecerse una tarifa o mecanismo de financiamiento para mantenimiento, insumos y eventual reposición. Estudios señalan que, sin aporte comunitario o mecanismo de sostenibilidad económica, los sistemas rurales tienden a fallar. (Lindt & Royero de Buenavides, 2025)
- La planificación debe estimar OPEX (cloro, energía, repuestos, personal). Si el sistema está alineado con capacidad financiera local, su viabilidad social se fortalece.

Inclusión social y género

- Importante considerar la participación de mujeres y poblaciones vulnerables en comités de agua, capacitación y monitoreo, lo que mejora gobernanza y sostenibilidad.

Viabilidad social resumida

Ventajas: comunidad rural con estructura de acueducto comunitario, posibilidad de participación.

Desafíos: asegurar financiación, garantizar operación regular, cumplir normas de calidad, sostenibilidad administrativa.

Viabilidad ambiental

Protección de la cuenca y captación sostenible

- El proyecto debe incorporar buenas prácticas de protección de la cuenca: control de escorrentías, vegetación ribereña, manejo de sedimentos, evitar deforestación o actividades contaminantes aguas arriba que afecten la fuente. Un enfoque de infraestructura verde combinado con captación mejora la resiliencia. (CI Bogotá-Región/IWRM, 2023)
- Debe evaluarse el impacto ambiental de la obra de captación, tuberías y tanques, y mantener el régimen ecológico mínimo del río (no extraer caudales por encima de lo sostenible).

Tratamiento y residuos

- Si se emplea coagulación o sedimentación, lodos deberán gestionarse adecuadamente para evitar vertimientos al río o efectos secundarios.
- El diseño debe minimizar el consumo energético, preferir alternativas pasivas o renovables (solar para bombeo, gravedad para transporte) para reducir huella de carbono y costos operacionales.

Calidad del agua y salud pública

- El tratamiento garantiza cumplimiento de estándares de agua potable (OMS, etc.), lo que reduce enfermedades de origen hídrico y mejora ecosistema humano.
- Medición periódica de calidad del agua y monitoreo ambiental contribuyen a la resiliencia del sistema.

Adaptación al cambio climático y variabilidad hídrica

- En la región del Alto Magdalena, los efectos de variabilidad climática pueden afectar caudales y calidad del agua. El diseño debe contemplar escenarios de sequía o lluvias intensas, con reservas, tanques reguladores y tratamiento robusto frente a turbidez variable. (Colmenares-Cruz et al., 2024)
- Esta dimensión ambiental fortalece la viabilidad a largo plazo del proyecto.

Viabilidad ambiental resumida

Ventajas: proyecto puede integrarse con gestión de cuenca, buenas prácticas ambientales; tratamiento adecuado protege salud y ecosistema.

Desafíos: necesidad de evaluación ambiental, gestión de residuos de tratamiento, dimensionamiento frente a variabilidad hídrica, costo adicional de infraestructuras de protección.

Síntesis de viabilidad (técnica-social-ambiental)

Dimensión	Factores favorables	Factores críticos
Técnica	Tecnologías adaptables a zonas rurales; fuente local; escala comunitaria factible.	Turbidez/caudal variable; necesidad de mantenimiento; nivel técnico de operación.
Social	Comunidad estructurada; posible alta participación.	Financiamiento de operación; capacitación; gobernanza local.
Ambiental	Posibilidad de integrar protección de cuenca; reducción de riesgos de salud.	Variabilidad climática; residuos de tratamiento; impacto de obra.

Tabla 1 síntesis de viabilidad (técnica-social-ambiental)

Año: 2025; Imagen. Edición mía. Fuente: Google

En conjunto, la viabilidad del proyecto en Puerto Bogotá es **moderada a alta**, siempre que se diseñe con un enfoque integrado que combine los tres ejes. Se recomienda emprender un **estudio detallado de pre-factibilidad** que incluyan muestreos de calidad/caudal, diagnóstico institucional/comunitario y un estudio ambiental de impacto simplificado. Si los resultados son positivos, el esquema puede replicarse como modelo para otras comunidades rurales de la región Alto Magdalena.

Recomendaciones técnicas-gerenciales para viabilidad y replicabilidad

1. Realizar un diagnóstico participativo con la comunidad: talleres, encuestas, mapa de actores y roles.
2. Establecer un plan de fuente y tratamiento flexible: captación protegida + planta modular (SSF + cloración) con posibilidad de ampliación.
3. Incorporar un modelo financiero comunitario: tarifas moderadas, fondo de mantenimiento, convenio con municipio o empresa local.
4. Garantizar monitoreo ambiental: calidad del agua cruda/tratada, sedimentación, caudal mínimo, registro climático.
5. Establecer mecanismo de mantenimiento y formación: comité de agua, plan de repuestos, manuales, supervisión por entidad técnica.
6. Documentar el proyecto piloto como caso de éxito y difundir como modelo regional, creando guía replicable para otras comunidades del Alto Magdalena.

9. CONCLUSIONES

Este trabajo escrito, realizado en el corregimiento de Puerto Bogotá permitió evidenciar que el acceso limitado al agua potable es una problemática estructural que afecta directamente la salud, el bienestar y el desarrollo comunitario. A partir del análisis técnico, social y ambiental, se confirmó que las condiciones geográficas, la dispersión poblacional y la falta de infraestructura dificultan la implementación de sistemas convencionales de abastecimiento.

Se cumplió con los objetivos planteados: se caracterizaron las condiciones del entorno, se analizaron alternativas de captación y potabilización, y se evaluó la viabilidad de un proyecto adaptado al contexto rural. La propuesta de un sistema descentralizado, con participación comunitaria y tecnologías apropiadas, representa una solución viable y replicable en otras zonas de la cuenca del río Alto Magdalena.

Los hallazgos permiten inferir que la sostenibilidad de los proyectos de agua en zonas rurales depende no solo de su diseño técnico, sino también de la apropiación social, la educación comunitaria y el acompañamiento institucional. La triangulación metodológica fortaleció la validez del estudio, al integrar percepciones locales, observación directa y revisión documental.

En conclusión, este trabajo aporta una propuesta concreta para mejorar el acceso al agua potable en Puerto Bogotá, alineada con el ODS 6 y con potencial de impacto en salud pública, equidad territorial y gestión ambiental. La investigación demuestra que es posible generar soluciones contextualizadas desde el ámbito académico, con participación activa de la comunidad y enfoque de sostenibilidad.

10. RECOMENDACIONES

1. Implementar sistemas de captación y tratamiento adaptados al contexto rural, priorizando tecnologías de bajo costo y fácil mantenimiento como la filtración lenta y la cloración comunitaria. Estas soluciones deben considerar las condiciones geográficas y sociales del corregimiento de Puerto Bogotá.
2. Fortalecer la participación comunitaria en todas las etapas del proyecto, desde el diagnóstico hasta el mantenimiento. La capacitación de líderes locales y la creación de comités de agua pueden mejorar la sostenibilidad y apropiación de las soluciones implementadas.
3. Realizar campañas educativas sobre el uso responsable del agua y prácticas de higiene, especialmente en instituciones educativas y hogares con niños. Esto contribuirá a reducir enfermedades relacionadas con el consumo de agua no tratada.
4. Promover alianzas con entidades públicas y privadas para gestionar recursos técnicos y financieros que permitan escalar el proyecto y replicarlo en otras comunidades rurales de la cuenca del río Alto Magdalena.
5. Desarrollar estudios complementarios sobre calidad del agua y eficiencia hidráulica, que incluyan mediciones fisicoquímicas y microbiológicas. Estos datos permitirán validar técnicamente las propuestas y ajustar los diseños según los estándares nacionales.
6. Actualizar el diagnóstico demográfico y territorial periódicamente, para adaptar las soluciones a los cambios poblacionales, climáticos y de infraestructura. Esto garantizará que los sistemas de agua respondan a las necesidades reales de la comunidad.
7. Incorporar el enfoque de género y vulnerabilidad en la planificación de proyectos, asegurando que mujeres cabeza de familia, adultos mayores y población infantil sean considerados en la toma de decisiones y en el acceso equitativo al recurso hídrico.

11. REFERENCIAS

- 2025, m. (s.f.). Obtenido de www.google.com/maps/@5.2129134,-74.715912,5155m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MTExMi4wLWlKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- 2025, p. b. (s.f.). Obtenido de <https://puertobogotahoy.blogspot.com/2011/10/mapa-del-corregimiento-de-puerto-bogota.html>
- Davis, D. (2000). <http://ri.uaemex.mx>. (T. editores., Ed.) Recuperado el 23 de Enero de 2025, de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/103743/secme-27284_1.pdf?sequence=1#:~:text=Se%20refiere%20a%20la%20ubicaci%C3%B3n,%20se%20realiza%20la%20investigaci%C3%B3n.
- Enago Academy. (22 de Enero de 2025). <https://www.enago.com>. Obtenido de <https://www.enago.com/academy/latam/write-thesis-statement/>
- Gallegos, P. C. (2025). <https://comunicacionacademica.uc.cl>. (C. P. Lobato, Ed.) Recuperado el 24 de Enero de 2025, de https://comunicacionacademica.uc.cl:https://comunicacionacademica.uc.cl/images/recursos/espanol/escritura/recurso_en_pdf_extenso/17_Como_elaborar_una_conclusion.pdf
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). <http://ri.uaemex.mx>. (M. Hill, Ed.) Obtenido de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/103743/secme-27284_1.pdf?sequence=1#:~:text=Se%20refiere%20a%20la%20ubicaci%C3%B3n,%3A%20municipio%2C%20ciudad%2C%20pa%C3%ADs.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (16 de Marzo de 2022). ecollection-icontec-org.unipiloto.basesdedatosezproxy.com. Obtenido de [ecollection-icontec-org.unipiloto.basesdedatosezproxy.com:https://ecollection-icontec-org.unipiloto.basesdedatosezproxy.com/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=A465F2DDA6B0FDB83A33B01BCED1EBDEC9E021851AB8BA96&Req=](https://ecollection-icontec-org.unipiloto.basesdedatosezproxy.com/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=A465F2DDA6B0FDB83A33B01BCED1EBDEC9E021851AB8BA96&Req=)
- Instituto PACCELLY. (2025). <https://sbbd9736625373ac7.jimcontent.com>. Recuperado el 23 de Enero de 2025, de <https://sbbd9736625373ac7.jimcontent.com/download/version/1573572800/module/16926968196/name/CAP%C3%8DTULO%205.pdf>
- Muñoz, A. G. (2016). <https://www.ucm.es>. Obtenido de <https://www.ucm.es:https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-135806/4%20el-desarrollo.pdf>
- Rivera, G. P. (Mayo de 1998). www.uv.mx. Recuperado el 23 de Enero de 2025, de https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/documents/2/Marco_Teorico_Referencial.pdf
- Rodriguez, V. (3 de Mayo de 2023). <https://es.linkedin.com>. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/consejos-y-mejores-pr%C3%A1cticas-para-redactar-de-tesis-inincim>
- Torres, R. A., & Monroy, M. J. (13 de Octubre de 2020). *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. Obtenido de

<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/atotonilco/article/download/5265/9468/>

Universidad Autónoma del Estado de México. (s.f.). <http://ri.uaemex.mx>. Recuperado el 23 de Enero de 2025, de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/103743/secme-27284_1.pdf?sequence=1#:~:text=Se%20refiere%20a%20la%20ubicaci%C3%B3n,o%20se%20realiza%20la%20investigaci%C3%B3n.

Universidad de Veracruz. (11 de Febrero de 2010). www.uv.mx. Obtenido de <https://www.uv.mx/veracruz/insting/files/2013/02/propuesta-de-protocolo-final.doc>

Universidad del ISTMO. (2025). <https://cmsudi.udelistmo.edu>. Recuperado el 23 de Enero de 2025, de https://cmsudi.udelistmo.edu:https://cmsudi.udelistmo.edu/sites/default/files/formato_inscripcion_y_guia_de_tesis.pdf

Universidad para la Cooperación Internacional. (4 de Junio de 2015). www.ucipfg.com. Obtenido de www.ucipfg.com/Repositorio: https://www.ucipfg.com/Repositorio/MAP/MAPD-12/BLOQUE_ACADEMICO/UNIDAD_1/002.pdf