

ORIGINAL

Integral optimization of the Quebrada La Honda water supply system: social and financial impacts in Villavicencio, Meta

Optimización integral del sistema de acueducto en Quebrada La Honda: impactos sociales y financieros en Villavicencio, Meta

Giselle F. Andrade Rondón¹  , Jaime A. Ortiz Vega¹, Andrea del P. Murcia Londoño¹, Jaime H. Ospina Rocha¹

¹Corporación Universitaria del Meta, Colombia.

Citar como: Andrade Rondón GF, Ortiz Vega JA, Murcia Londoño AP, Ospina Rocha JH. Integral optimization of the Quebrada La Honda water supply system: social and financial impacts in Villavicencio, Meta. Environmental Research and Ecotoxicity. 2024; 3:11. <https://doi.org/10.56294/ere202211>

Enviado: 20-04-2024

Revisado: 07-07-2024

Aceptado: 11-10-2024

Publicado: 12-10-2024

Editor: Prof. Dr. William Castillo-González 

Autor para la correspondencia: Giselle F. Andrade Rondón 

ABSTRACT

Introduction: access to drinking water is essential for human development and is considered a universal right. In Colombia, regulations establish the characteristics and standards to ensure its quality as a domiciliary public service, including physicochemical properties of water and design criteria for hydraulic infrastructures.

Objective: to evaluate the aqueduct system in the Quebrada La Honda sector in Villavicencio, Meta, to propose solutions to improve its infrastructure.

Method: an exhaustive review of technical documents, previous studies and regulations, as well as surveys and interviews with the local community were carried out to evaluate the social impact of the collapse of the aqueduct system.

Development: the study identified significant problems in the adduction system from Quebrada La Honda to the La Esmeralda Drinking Water Treatment Plant, including the undersizing of the intake and the vulnerability of the infrastructure to natural phenomena. Service interruptions negatively affect the local quality of life.

Conclusions: it is proposed to redesign the intake and use ductile steel pipes to improve the durability and efficiency of the system, also recommending the implementation of a continuous surveillance and monitoring system to ensure long-term sustainability.

Keywords: Drinking Water; Infrastructure; Public Service; Aqueduct System.

RESUMEN

Introducción: el acceso al agua potable es esencial para el desarrollo humano y se considera un derecho universal. En Colombia, la normativa establece las características y estándares para asegurar su calidad como servicio público domiciliario, abarcando propiedades fisicoquímicas del agua y criterios de diseño de infraestructuras hidráulicas.

Objetivo: evaluar el sistema de acueducto en el sector Quebrada La Honda en Villavicencio, Meta, a fin de proponer soluciones para mejorar su infraestructura.

Método: se realizó una revisión exhaustiva de documentos técnicos, estudios previos y normativas, así como encuestas y entrevistas con la comunidad local para evaluar el impacto social del colapso del sistema de acueducto.

Desarrollo: el estudio identificó problemas significativos en el sistema de aducción desde Quebrada La Honda hasta la Planta de Tratamiento de Agua Potable La Esmeralda, incluyendo la subdimensión de la bocatoma y la vulnerabilidad de la infraestructura ante fenómenos naturales. Las interrupciones en el servicio afectan negativamente la calidad de vida local.

Conclusiones: se propone rediseñar la bocatoma y utilizar tuberías de acero dúctil para mejorar la durabilidad y eficiencia del sistema, recomendando también la implementación de un sistema continuo de vigilancia y monitoreo para garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

Palabras clave: Agua Potable; Infraestructura; Servicio Público; Sistema de Acueducto.

INTRODUCCIÓN

El agua potable es un elemento vital para el desarrollo del ser humano, por lo tanto, el acceso a este elemento ha sido catalogado como un derecho humano universal cuya distribución debe ser equitativa a fin de promover el respeto por la dignidad humana.⁽¹⁾ Del mismo modo, el agua potable debe estar libre de cualquier sustancia, patógeno o microorganismo que comprometa la salud pública; por lo que han surgido diferentes referentes normativos sobre las características fisicoquímicas y bacteriológicas que debe tener el agua que será dispuesta para consumo humano.⁽²⁾ Tal es el caso de Colombia, donde se establece la Resolución 2115 de 2007, la cual dictamina las diferentes características, instrumentos y frecuencias del control y vigilancia que debe tener el agua para asegurar su calidad.

En la misma línea, es la ley 142 de 1994 la que atiende al agua potable como un servicio público domiciliario partiendo del uso y manejo integral del recurso hídrico para el desarrollo del ser humano.⁽³⁾ Así pues, para garantizar la prestación de un servicio de calidad a la comunidad, es la resolución 0330 de 2017 la que dictamina los requerimientos técnicos que deben ser cumplidos en la planeación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y restauración de la infraestructura implicada en la gestión de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo.⁽⁴⁾ Sin embargo, a pesar de la existencia de normativas estrictas, es común ver que la comunidad presente afectaciones en el servicio, ya sea por la calidad de tratamiento, la red de abastecimiento o la red de distribución.

En muchas regiones de Colombia, el sistema de acueducto presenta desafíos significativos que lo llevan al colapso y al deterioro. Uno de estos desafíos, es la capacidad de los acueductos para afrontar fenómenos naturales como el movimiento de masas o las fuertes lluvias;⁽⁵⁾ también están presentes los problemas de envejecimiento de infraestructura, mala gestión de recursos y falta de inversión en mantenimiento y modernización.⁽⁶⁾ Estos factores, combinados con el aumento de la demanda debido al crecimiento poblacional y el cambio climático, pueden llevar a un deterioro progresivo del servicio lo cual tiene repercusiones sociales y financieras en la comunidad afectada. De esta manera, cuando un sistema de acueducto colapsa, las consecuencias son inmediatas y severas: interrupciones en el suministro de agua, aumento de enfermedades relacionadas con el agua, y un deterioro general en la calidad de vida.⁽⁷⁾

Desde un contexto más específico, el sector Quebrada la Honda en la ciudad de Villavicencio, Meta, ha sido testigo de los efectos devastadores del colapso de su sistema de acueducto.⁽⁸⁾ La falta de un suministro constante y confiable de agua ha generado una serie de problemas que afectan directamente a los residentes. La administración pública debe buscar alternativas costosas para obtener agua como lo es el abastecimiento parcial de pozos profundos⁽⁹⁾ lo que aumenta la carga financiera. Además, la interrupción del servicio de agua impacta negativamente en las actividades económicas locales, desde el comercio hasta la agricultura, exacerbando la situación financiera de la comunidad.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el sistema de acueducto en el sector Quebrada La Honda, Villavicencio, Meta, destacando la necesidad urgente de soluciones integrales que aborden tanto la mejora y ampliación de la infraestructura teniendo en cuenta los impactos sociales y financieros asociados al colapso del acueducto en el sector. A través de esta investigación, se espera proporcionar una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de estrategias efectivas que mitiguen la susceptibilidad del sistema de acueducto al colapso y promuevan el bienestar de la comunidad de Villavicencio.

MÉTODO

Caso de estudio

El caso de estudio se centró en el sistema de acueducto del sector Quebrada La Honda en Villavicencio, Meta, que correspondía al sistema de aducción que iniciaba en la bocatoma hasta la PTAP La Esmeralda, encargada de abastecer el servicio de agua potable a la ciudad de Villavicencio. Esta área fue seleccionada debido a sus problemas recurrentes con el suministro de agua potable, que habían afectado significativamente a la comunidad local.

Recopilación de información

Consistió en una revisión exhaustiva de documentos y datos relevantes sobre el sistema de acueducto. Se recolectaron informes técnicos, estudios previos, normativas vigentes y cualquier otra documentación pertinente

que permitiera definir un panorama preciso de la problemática abordada. También se buscó información en bases de datos académicas, informes gubernamentales y publicaciones especializadas sobre la problemática. De este modo, la información recopilada permitió la construcción de una base sólida de conocimiento sobre el estado actual del sistema de acueducto y los factores que contribuían a su colapso. Los criterios para la selección de documentos incluyeron la relevancia, la actualidad y la credibilidad de las fuentes.

Estudio de impacto Social

Consistió en la evaluación de cómo el estado de la infraestructura afectaba a la comunidad. Se realizaron encuestas y entrevistas estructuradas con la comunidad para evaluar cómo las deficiencias en la infraestructura del acueducto impactaban su vida diaria, su salud y su bienestar general.

Propuestas de mejora

A partir de los resultados del diagnóstico técnico y el estudio de impacto social, se desarrolló una propuesta de mejora para la optimización del sistema de acueducto.

RESULTADOS

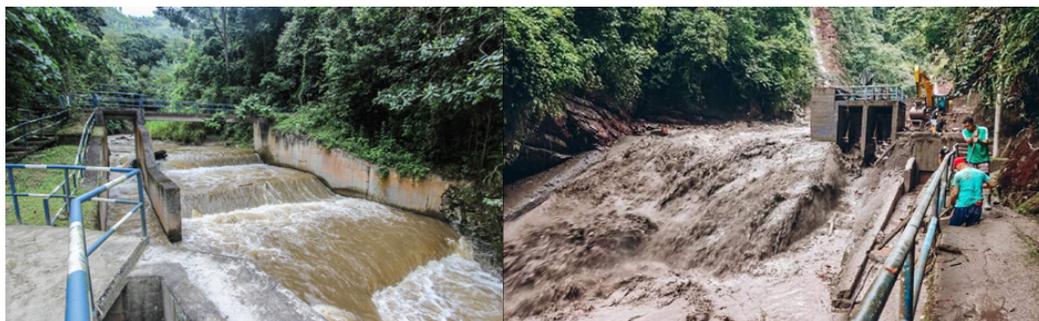
La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV)⁽¹⁰⁾, es la entidad encargada de la prestación del servicio público domiciliario de agua potable en Villavicencio. Esta entidad, hace uso de la red de drenaje que nace en el Páramo de Chingaza y desemboca en el sistema lótico de Quebrada La Honda. Actualmente, la ciudad de Villavicencio es abastecida por seis fuentes hídricas superficiales: Quebrada La Honda, Río Guatiquía, Caño Maizaro, Caño Buque, Caño Blanco y Caño Grande; y 16 fuentes hídricas subterráneas de las cuales solo cuatro están en operación: Bosques de Abajam, Samán de la Rivera, Darién y Charrascal. Dichas fuentes, cuentan con cinco sistemas de aducción a tres Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) que abastecen cerca del 86 % de los habitantes de la ciudad. En la siguiente tabla se muestran las características generales de los sistemas de aducción.

N°	Sistema de aducción	Diámetro (Pulgadas)	Longitud (Metros)
1	Quebrada la Honda – La Esmeralda	33 AP	15.737
2	Caño Buque – Fuentes Altas	8 PVC	800
3	Caño Maizaro – Fuentes Altas	Canal Abierto	100
4	Estación Bavaria – La Esmeralda	24 AP	1.600
5	Estación Puente Abadía – La Esmeralda	24 AP	9.801

Figura 1. Sistemas de Aducción de Agua en Villavicencio

La zona de interés está orientada al sistema de aducción desde Quebrada La Honda hasta la PTAP La Esmeralda, cuya longitud es de 15,7 km. Dicho trayecto, pasa por una zona topográfica quebrada y susceptible a deslizamientos, movimientos en masa y erosión. La bocatoma se encuentra ubicada a 15km hacia el norte del casco urbano y es la principal fuente de abastecimiento proporcionando un caudal de 1600 L/s, representando el 75 % del agua que es ofertada a la comunidad para su consumo.⁽¹¹⁾

De acuerdo con la información publicada en la plataforma digital de la EAAV, la red de aducción se compone por una Bocatoma y una tubería de aluminio extruido de 33” de diámetro, el cual es un material caracterizado por su capacidad para direccionar fluidos líquidos en altas presiones. De acuerdo con Rocha⁽¹²⁾, una bocatoma es una estructura hidráulica cuya construcción es efectuada sobre un río o canal con la finalidad de extraer una parte del caudal de la fuente; el agua extraída es conducida por un sistema de tuberías hacia un sistema de tratamiento para potabilizarla, es decir a una PTAP.



Fuente: PDM⁽¹⁴⁾

Figura 2. Comportamiento de la Bocatoma

Nota: la imagen de la izquierda ilustra la Bocatoma en época de verano; la imagen de la derecha ilustra la Bocatoma en época de Lluvias.

Ahora bien, las bocatomas como unidades de captación, están expuestas a problemas de carácter especial que influyen directamente en su diseño como lo son la inestabilidad de las descargas fluviales, la información sobre fenómenos hidrometeorológicos de la zona, el transporte de sólidos y material sedimentable por la fuente y la ocurrencia periódica de fenómenos natural de tipo ENSO, es decir Niño y Niña.⁽¹³⁾

En línea con lo anterior, la bocatoma del sistema de aducción del sector Quebrada La Honda presenta irregularidades en su capacidad hidráulica para la gestión del recurso hídrico. Dicha irregularidad se hace aún más notoria en las temporadas de lluvia, puesto que su infraestructura colapsa dado el aumento del volumen de agua debido al aporte pluvial a la fuente. En la siguiente figura se representa fotográficamente el contraste de la capacidad hidráulica de la bocatoma en condiciones de verano y en condiciones de colapso.

La figura 2, permite inferir que muchos factores como el aumento del volumen de agua por adición pluvial no fue considerado en el diseño, lo cual sugiere la subdimensión de la infraestructura. Este descuido puede evitarse si se hubiese hecho un estudio exhaustivo sobre el comportamiento de la quebrada y sobre la red de drenaje perteneciente a la cuenca hidrográfica. Un ejemplo de la pertinencia de este tipo de estudios diagnósticos es representado en el estudio de Mosquera⁽¹⁵⁾, donde emplea la metodología para determinar la vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras de acueductos propuesta por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. En la siguiente tabla se exponen las variables e indicadores que todo estudio de vulnerabilidad debe contemplar en la fase de diseño de sistemas de captación.

Variables asociadas a Caudales Máximos	Variables asociadas a Caudales Mínimos	Indicadores
Morfometría de la cuenca	Hidro climatología – Curvas IDF de caudales	Índice de retención y regulación hidráulica (IRH)
Coefficiente de compacidad	Volumen bajo la curva de duración de caudales	Índice de uso del agua (IUA)
Densidad de drenaje	Volumen bajo la línea de caudales medios	Índice de vulnerabilidad hídrica (IVH)
Área de drenaje	Cantidad de agua demanda por la cuenca	Índice morfométrico de torrencialidad (IFM)
Pendiente media de la cuenca		Índice de variabilidad (IV)
Índice de torrencialidad		Índice de vulnerabilidad ante eventos torrenciales (IVET)

Fuente: Mosquera⁽¹⁵⁾

Figura 3. Variables e indicadores considerables en la determinación de vulnerabilidad de fuentes abastecedoras

Ahora bien, en términos sociales, las afectaciones del colapso del sistema se han evidenciado por la suspensión periódica del servicio de agua potable a la ciudad. Puesto que la infraestructura se ha visto comprometida mayoritariamente por avenidas torrenciales, donde las tuberías se han fisurado, fragmentado y hasta dividido. Un ejemplo de ello es lo que sucedió en marzo del presente año, donde en 8 sectores de la ciudad se presentaron cortes en el servicio desde las seis de la mañana. Lo anterior, a causa de inconvenientes en la infraestructura que requieren intervención en el sistema de aducción desde la bocatoma de Quebrada La Honda hasta la PTAP la esmeralda ya que se tuvieron que realizar obras de restauración y mantenimiento en el sistema.

Estos cortes en el servicio causaron que la administración otorgara un abastecimiento parcial a través de la estación de bombeo de Bavaria durante el periodo de la interrupción del servicio público. Lo cual presenta una sobrecarga en el sistema de acueducto de la estación Bavaria, pues al suplir las actividades del sector Quebrada La Honda, se compromete el acceso al servicio de los principales beneficiarios de esta estación. Así como este caso, hay un sinnúmero de noticias sobre interrupciones constantes en el servicio de agua potable debido a colapsos en la infraestructura del sistema de aducción en Quebrada La Honda, tal y como se muestra en la siguiente figura.



Fuente: Villavo10⁽¹⁶⁾

Figura 4. Reparaciones en el sistema de aducción en Quebrada la Honda

Por otro lado, la resolución 082 de 2009 establece la adopción de los formularios para la inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.⁽¹⁷⁾ Dentro de dichos formularios se encuentra el Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano (IRABA), dentro del cual se comprende el índice de Continuidad (IC), que corresponde a la evaluación de la calidad de la prestación del servicio de agua potable en razón de las horas al día que la comunidad cuenta con acceso. Así mismo, la resolución 2115 de 2007, establece que el número de horas de servicio mínimo es de 18 horas.⁽¹⁸⁾ En la siguiente tabla se presenta el método de cálculo del IC y sus rangos de puntuación para el cálculo del IRABA.

Tabla 1. Variables e indicadores considerables en la determinación de vulnerabilidad de fuentes abastecedoras

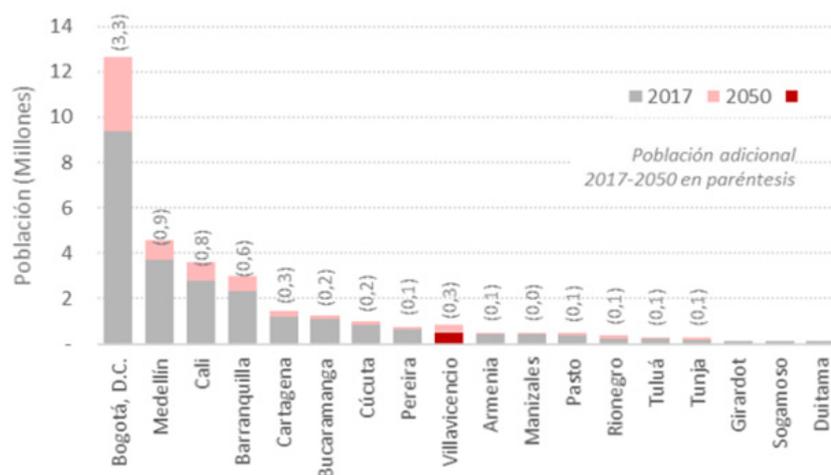
Continuidad del Servicio	Calidad del Servicio	Puntaje
0 - 10 HORAS/DÍA	Insuficiente	0
10,1 - 18 HORAS/DÍA	No satisfactorio	10
18,1 - 23 HORAS/DÍA	Suficiente	15
23,1 - 24 HORAS/DÍA	Continuo	20

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial⁽¹⁸⁾

Por lo tanto, si bien la administración trata de solucionar las interrupciones con abastecimientos parciales, la calidad del servicio no podría definirse en un estado óptimo, pues la calidad del servicio según la comunidad no es la mejor ya que presentan interrupciones en el acceso hasta por días enteros, lo cual infringe lo establecido en la resolución 082 de 2009.

Así mismo, según el departamento Nacional de Planeación, la Dirección de Desarrollo Nacional Urbano y el Observatorio del Sistema de Ciudades; la aglomeración de población urbana ocupa el puesto número 8 y se espera que para 2050 el casco urbano esté habitado por alrededor de 840 000 habitantes, lo cual representa un crecimiento anual del 1,6 %, representando un incremento de aproximadamente 350 000 habitantes entre 2017 y 2050. La siguiente figura plasma lo anteriormente mencionado.

2005	Población Total			Población urbana			
	2017	2035	2050	2005	2017	2035	2050
390.506	516.667	705.937	840.387	363.139	500.123	696.754	834.168
Porcentaje de población urbana				93%	96,80%	98,70%	99%



Fuente: Departamento Nacional de Planeación et al.⁽¹⁹⁾

Figura 5. Proyección poblacional 2005 - 2050 para Aglomeración urbana de Villavicencio

En resumen, en la siguiente tabla se representan los principales impactos sociales evidentes en la comunidad debido al colapso en el sistema de aducción de la bocatoma de Quebrada La Honda hasta la PTAP La Esmeralda.

De acuerdo con la información de la tabla, los colapsos en el sistema de aducción han generado preocupaciones sobre la seguridad hídrica y la necesidad de fortalecer la infraestructura para enfrentar los desafíos climáticos y garantizar el acceso continuo al agua potable en la ciudad.

Impacto	Descripción
Interrupción en el suministro de agua	Los colapsos afectan la continuidad del servicio de agua potable en la ciudad. Cuando la línea de aducción se daña, se interrumpe el flujo de agua hacia la PTAP, dejando a los habitantes sin acceso al vital recurso.
Vulnerabilidad ante emergencias	Durante la temporada de lluvias, la infraestructura de aducción es más susceptible a daños. Esto deja a la comunidad expuesta a situaciones de emergencia, especialmente cuando las lluvias aumentan los caudales de ríos y caños.
Necesidad de modernización y mantenimiento	La PTAP La Esmeralda, construida hace 42 años, está siendo modernizada para aumentar su capacidad de tratamiento. Esto es crucial para garantizar un abastecimiento adecuado de agua potable a la ciudad, incluso en condiciones climáticas adversas.
Inversión en infraestructura	Los proyectos de modernización de la PTAP y la construcción de una nueva bocatoma requieren inversiones significativas. Estos esfuerzos buscan mejorar la calidad y confiabilidad del suministro de agua para los habitantes de Villavicencio.

Figura 6. Principales Impactos Sociales Evidenciados

Propuesta de Optimización

En base a la información anterior, la principal propuesta de mejora para optimizar el sistema de aducción en el sector Quebrada La Honda es rediseñar la bocatoma. Actualmente, toda la red enfrenta pérdidas financieras significativas debido a los numerosos procesos de restauración necesarios por su subdimensión y baja capacidad hidráulica para gestionar los volúmenes de agua necesarios para abastecer a la población. Se recomienda que este rediseño sea minucioso y considere todas las variables descritas previamente en la figura 3, así como las diferentes metodologías establecidas por las políticas nacionales que dictaminan los criterios de diseño para un correcto funcionamiento de la bocatoma. Aunque esta medida representa un elevado costo de inversión pública inicialmente, a largo plazo resultará en un ahorro notable, ya que los recursos financieros destinados a reparaciones y restauraciones constantes ya no serán necesarios y el costo de mantenimiento también se reducirá.

Ahora bien, como la PTAP ya cumplió su periodo de diseño (25 años) se propone modificar el desarenador de la PTAP con la adición de dos compuertas de tipo radial cuyas dimensiones deben ser proporcionales al ancho de las cámaras. Lo anterior con el fin de aumentar el área de entrada al desarenador y regular la velocidad del caudal a tratar.

En la misma línea, en el diseño de la tubería se debe tener en cuenta que esta debe ser de un material más resistente que el aluminio extruido, como el acero dúctil. Este último ofrece una mayor durabilidad y resistencia a la presión interna y externa,⁽²⁰⁾ minimizando el riesgo de fallas y fugas. Además, el acero dúctil tiene una excelente capacidad para soportar impactos y vibraciones, y su flexibilidad permite adaptarse mejor a las condiciones del terreno. Utilizar acero dúctil no solo garantizará una mayor longevidad del sistema de tuberías do que es resistente a la corrosión,⁽²¹⁾ sino que también reducirá significativamente los costos de mantenimiento y las interrupciones en el servicio,⁽²²⁾ proporcionando una solución más eficiente y sostenible a largo plazo para el sistema de aducción en el sector Quebrada La Honda.⁽²³⁾

CONCLUSIONES

El crecimiento urbano y la falta de inversión adecuada en infraestructura han llevado a que el sistema de acueducto enfrente problemas significativos de pérdidas de agua, interrupciones en el suministro y fallas en la distribución. La red de tuberías envejecida y las plantas de tratamiento con capacidad limitada son indicadores de un sistema que requiere una modernización urgente aparte de su topografía de difícil acceso y ubicación de estas.

La propuesta de mejora para el sistema de acueducto en el sector Quebrada La Honda, Villavicencio, se centra en rediseñar la bocatoma y modernizar la infraestructura existente para abordar las deficiencias actuales. Se recomienda un rediseño minucioso de la bocatoma que considere todas las variables hidráulicas y metodologías establecidas por las políticas nacionales, así como la adición de compuertas radiales en la PTAP La Esmeralda para aumentar su capacidad de tratamiento. Además, se sugiere reemplazar las tuberías de aluminio por acero dúctil, un material más resistente y duradero, para minimizar riesgos de fallas y reducir costos de mantenimiento. Estas medidas, aunque requieren una inversión inicial significativa, garantizarán un abastecimiento de agua más eficiente y sostenible a largo plazo para la comunidad de Villavicencio.

El presente estudio resalta la urgente necesidad de inversión en infraestructura para asegurar un suministro de agua potable confiable y seguro a toda la comunidad de Villavicencio. Se subraya la importancia de adoptar prácticas de gestión sostenible del agua y fomentar la colaboración y coordinación entre todas las partes

interesadas. Asimismo, se enfatiza la participación activa de la comunidad en la toma de decisiones y la implementación de proyectos. Además, se recomienda establecer un sistema continuo de vigilancia y monitoreo para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las mejoras implementadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Echeverría J, Anaya-Morales S, Echeverría-Molina J, Anaya-Morales S. El derecho humano al agua potable en Colombia: Decisiones del estado y de los particulares. *Vniversitas*. 2018;136:43-56. <https://doi.org/10.11144/javeriana.vj136.dhap>
2. Chulluncuy NC. Tratamiento de agua para consumo humano. *Ing Ind*. 2011;(029):Art 029. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>
3. Congreso de la República de Colombia. Ley 142 de 1994. 1994. Disponible en: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>
4. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Resolución 0330–2017. 2017. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>
5. Gómez DE. Acceso al agua potable, índice de calidad y sus determinantes: Un análisis para el caso de Colombia. 2013.
6. Moncada J, Pérez Muñoz C, Valencia Agudelo GD. Comunidades organizadas y el servicio público de agua potable en Colombia: Una defensa de la tercera opción económica desde la teoría de recursos de uso común. *Ecos Econ*. 2013;17(37):125-59.
7. Mejía J, Merchán A. Análisis de la vulnerabilidad en el sistema de abastecimiento de agua en el corregimiento de Cotoprix. Bogotá: Universidad de La Salle; 2017. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/108
8. Ardila NA. En dos sectores se rompió la tubería del acueducto de Villavicencio. *El Tiempo*. 2019. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/danos-acueducto-de-villavicencio-362640>
9. EAAV. Con el apoyo de pozos profundos y otras fuentes de captación se está suministrando el agua para la ciudad - Alcaldía de Villavicencio. Alcaldía de Villavicencio; 2022. Disponible en: <https://villavicencio.gov.co/con-el-apoyo-de-pozos-profundos-y-otras-fuentes-de-captacion-se-esta-suministrando-el-agua-para-la-ciudad/>
10. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV). Sistema de Acueducto de Villavicencio. 2022. Disponible en: <https://www.eaav.gov.co/#/contenido/14/Acueducto>
11. Rivera PA. Implicaciones de la falta de acceso permanente a agua potable en la población, caso municipio de Villavicencio año 2016. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada; 2017. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16413>
12. Rocha A. La Bocatoma, Estructura Clave en un Proyecto de Aprovechamiento Hidráulico. 2003;27.
13. Ponce RT. Diseño hidráulico de bocatoma. Caso: Bocatoma en el río Chicama, en la zona de Facalá. Lima: Universidad San Martín de Porres; 2015. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2849560>
14. PDM. En estos barrios se realiza la interrupción del servicio de agua. 2022. Disponible en: <https://periodicodelmeta.com/en-estos-barrios-se-realiza-la-interrupcion-del-servicio-de-agua/>
15. Mosquera Y. Validación de la metodología propuesta por el IDEAM para determinar la vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras de acueductos (caso de estudio: Cuenca del río Guatiquia municipio de Villavicencio-Meta). Bogotá: Escuela Colombiana de Carreras Industriales; 2014. Disponible en: <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/3673>
16. Villavo10. La EAAV adelanta obras para recuperar la Bocatoma de Villavicencio. Villavo Alreves; 2022. Disponible en: <https://villavoalreves.co/la-eaav-adelanta-obras-para-recuperar-la-bocatoma-de-villavicencio/>.

17. Ministerio de la Protección Social. Resolución 0082–2009. Colombia Potencia de la Vida - Minvivienda. 2009. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0082-2009-0>

18. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115–2007. 2007. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>

19. Departamento Nacional de Planeación, Dirección de Desarrollo Urbano, Observatorio del Sistema de Ciudades. Atlas de la Aglomeración de Villavicencio. Bogotá: DNP; 2019.

20. Tzatchkov V, Yamanaka VHA, Ortiz VJB. Diseño de Acueductos Seguros Contrafatiga del Material en los Transitorios Hidráulicos. En: VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua; 2006; Brasil.

21. Perero BS. Diseño de un sistema de protección anticorrosiva integral para instalar en un acueducto manufacturado en hierro dúctil. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral; 2022. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56137>

22. Berrones RF, Vassilev VH. Consideraciones sísmicas en el diseño de tuberías. *Tecnol Cienc Agua*. 1999;14(2):Art 2.

23. Periódico del Meta (PDM). Villavicencio de nuevo sin agua por daños en la Bocatoma; EAAV alista plan de contingencia. 2022 jul 12. Disponible en: <https://periodicodelmeta.com/villavicencio-de-nuevo-sin-agua-por-danos-en-la-bocatoma-eaav-alista-plan-de-contingencia/>

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Giselle F. Andrade Rondón, Jaime A. Ortiz Vega, Andrea del P. Murcia Londoño, Jaime H. Ospina Rocha.

Curación de datos: Giselle F. Andrade Rondón, Jaime A. Ortiz Vega, Andrea del P. Murcia Londoño, Jaime H. Ospina Rocha.

Análisis formal: Giselle F. Andrade Rondón, Jaime A. Ortiz Vega, Andrea del P. Murcia Londoño, Jaime H. Ospina Rocha.

Redacción - borrador original: Giselle F. Andrade Rondón, Jaime A. Ortiz Vega, Andrea del P. Murcia Londoño, Jaime H. Ospina Rocha.

Redacción - revisión y edición: Giselle F. Andrade Rondón, Jaime A. Ortiz Vega, Andrea del P. Murcia Londoño, Jaime H. Ospina Rocha.