

Estrategias ingenieriles para el saneamiento descentralizado en contextos comunitarios colombianos no convencionales

Engineering strategies for decentralized sanitation in unconventional Colombian community contexts

BELLO GUEVARA, JOSÉ DAVID¹; JARABA MORALES, GABRIEL FRANCISCO^{1,*}; MANJARRES AGUILERA, DANIEL ALFONSO¹ Y URUETA NUÑEZ, ANDRÉS RICARDO¹

¹Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Sucre, Sincelejo, Sucre, Colombia.

*Autor de correspondencia: gbrljaraba@gmail.com; Tel.: 57 314 5030432.

Recibido: 27 de mayo de 2025

Aceptado: 09 de noviembre de 2025

Publicado: 24 de noviembre de 2025

Resumen:

En Colombia, debido a factores sociales, geográficos y económicos, hay muchas comunidades en áreas rurales que aún no tienen acceso a un sistema de saneamiento adecuado. La falta de cobertura se puede abordar desde un enfoque sostenible e inclusivo gracias a los sistemas de saneamiento descentralizados, como los humedales construidos, los sistemas modulares de tratamiento y los biodigestores, ya que las técnicas convencionales son inaccesibles para estos sistemas debido a su alto costo y operatividad. Este es el tema principal del presente artículo. El artículo resalta las disparidades en el acceso al saneamiento entre áreas rurales y urbanas, los beneficios que estas tecnologías brindan al medio ambiente y la salud pública, así como su habilidad para mejorar el acceso al agua a nivel de comunidad.

Palabras clave: *humedales construidos, tratamientos descentralizados, saneamiento ambiental, comunidades rurales.*

Abstract:

In Colombia, due to social, geographic, and economic factors, many rural communities still lack access to adequate sanitation systems. This lack of coverage can be addressed sustainably and inclusively through decentralized sanitation systems, such as constructed wetlands, modular treatment systems, and biodigesters, as conventional techniques are inaccessible to these communities due to their high cost and operational complexity. This is the main topic of this article. The article highlights the disparities in access to sanitation

between rural and urban areas, the benefits these technologies offer to the environment and public health, and their potential to improve access to water at the community level.

Keywords: *constructed wetlands, decentralized treatment, environmental sanitation, rural communities.*

1. Introducción

El saneamiento es un derecho humano fundamental y uno de los propósitos establecidos por las Naciones Unidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Orozco, 2025). Colombia enfrenta un desafío en relación con el saneamiento ambiental en las comunidades periféricas y rurales, que no cuentan con sistemas de tratamiento o los que presentan tienen condiciones deficientes de operación (Guerrero, 2024), la problemática radica de la ubicación geográfica de difícil acceso que poseen estas comunidades, los altos costos asociados a su construcción y mantenimiento para la implementación de las tecnologías de saneamiento y la escasa disposición de los recursos financieros para proveer a toda la población de sistemas de tratamientos de agua residuales, lo que ha llevado a impulsar sistemas de tratamiento descentralizados que permitan la gestión comunitaria del agua y del saneamiento (Becerra-Perenguez, 2024).

En este marco el saneamiento descentralizado aparece como una estrategia adaptativa esencial para asegurar la equidad en el acceso a servicios básicos y fortalecer la resiliencia de las comunidades (Mazo et al., 2025). Esta visión resultante es especialmente significativa ante los desafíos cada vez mayores que presenta el cambio climático y las restricciones fiscales que enfrentan tanto el Estado como las comunidades mismas. La inviabilidad de una centralización que abarque todo indica que, sin adoptar enfoques descentralizados, grandes grupos de la población estarían condenados a permanecer fuera del alcance de un saneamiento digno. Asimismo, las soluciones descentralizadas, por su diseño flexible y modular, pueden ofrecer una mayor capacidad de adaptación frente a fenómenos climáticos extremos en comparación con las grandes redes interconectadas, que tienden a ser más susceptibles a interrupciones en gran escala (Betancur, 2025). La gestión por parte de la comunidad, a menudo vinculada a estos sistemas, tiene el potencial de promover la apropiación local y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las soluciones, reduciendo la dependencia de inversiones estatales continuas y elevadas.

El acceso al saneamiento es, además, un derecho humano fundamental y un componente esencial para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 6, que busca una disponibilidad de agua con calidad para las futuras generaciones (Corficolombiana, 2024; Orozco, 2025).

Este artículo presenta un análisis de las estrategias de ingeniería más relevantes que pueden aplicarse en escenarios no convencionales en Colombia. Se examinan tres tecnologías importantes: biodigestores anaeróbicos, humedales construidos y sistemas modulares de tratamiento, analizando sus beneficios, desafíos e impactos. También se considera el papel de las políticas públicas y la gestión comunitaria, que tienen el potencial de impulsar su adopción sostenible.

2. Desarrollo

2.1. Sistemas descentralizados en Colombia

Para las comunidades rurales y periurbanas del país, los sistemas de saneamiento descentralizados se presentan como una opción factible. Estas soluciones, creadas para funcionar a pequeña escala, posibilitan el tratamiento de aguas residuales en la localidad y promueven la apropiación por parte de la comunidad. Su implementación necesita un enfoque técnico robusto, pero también una sensibilidad hacia lo social y lo ambiental.

Los biodigestores anaeróbicos, los sistemas modulares y los humedales construidos (HC) son algunas de las tecnologías más sobresalientes. Los HC eliminan hasta un 80% de la carga orgánica a través de procesos naturales que se producen por medio de microorganismos, sustrato filtrante y vegetación (Zurita-Martínez & Sandoval-Herazo, 2024). Los biodigestores transforman los residuos en fertilizantes orgánicos y biogás, combinando así la producción agrícola y energética con el saneamiento (Pino et al., 2025). A pesar de que los sistemas modulares necesitan una inversión más grande y formación técnica, brindan escalabilidad, flexibilidad y eficiencia.

Estas tecnologías presentan diferentes niveles de complejidad, costo y adecuación al ambiente. La decisión de una opción u otra se basa en el tamaño de la comunidad, los recursos disponibles, la categoría del terreno y el grado de organización a nivel local. La formación comunitaria y el soporte técnico son elementos clave para la sostenibilidad, en cualquier caso (Monzón-Reyes et al., 2025), como se muestra en la tabla 1.

Desde el punto de vista medioambiental, estos sistemas disminuyen la carga contaminante en las masas de agua y ayudan a mitigar el cambio climático, además de promover la reutilización del agua tratada. En el plano social, la salud pública, la dignidad y la unidad de la comunidad mejoran. En términos económicos, fomentan el ahorro en salud, crean empleos locales y robustecen las economías rurales circulares.

Tabla 1. Comparación general de tecnologías de saneamiento descentralizado

Tecnología	Beneficios principales	Dificultades	Aplicación	Autor
Humedales construidos	Bajo costo, integración paisajística, promueve la biodiversidad	Necesita más área y mantenimiento regular	Comunidades rurales con terreno disponible	(Zurita-Martínez & Sandoval-Herazo, 2024)
Biodigestores anaeróbicos	Produce fertilizante y biogás, requiere poco mantenimiento	Es sensible al tipo de sustrato y a la temperatura	Se utiliza en áreas rurales dedicadas a la agricultura y ganadería	(Jiménez et al., 2024)
Sistemas modulares	Eficiencia elevada, instalación rápida, diseño compacto	Costo inicial más alto y dependencia de la electricidad	Zonas periurbanas o poblaciones pequeñas	(Saldías & Rodríguez, 2025).

El marco regulatorio de Colombia, en su Resolución 0844 de 2018 y el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), proporciona directrices para soluciones adaptadas a las áreas rurales. No obstante, es necesario simplificar los procedimientos y aumentar el soporte técnico y financiero para las comunidades gestoras con el fin de que se implemente efectivamente.

2.2. Desafíos para la implementación y sostenibilidad en comunidades no convencionales.

A pesar de los múltiples beneficios y el potencial de las estrategias de saneamiento descentralizado, su implementación exitosa y su sostenibilidad a largo plazo en comunidades rurales colombianas enfrentan una serie de desafíos significativos que deben ser abordados de manera integral. El financiamiento continúa siendo una barrera primordial. Si bien las soluciones descentralizadas pueden ser más costo-efectivas en ciertos escenarios, aún requieren una inversión inicial que a menudo excede la capacidad de las comunidades. El acceso a fuentes de financiación adecuadas, tanto para la construcción como para cubrir los costos recurrentes de operación, mantenimiento y eventual reposición, es fundamental (Corficolombiana, 2024; Núñez & Valencia, 2020).

El desarrollo de habilidades locales y la formación técnica son igualmente esenciales. Las tecnologías descentralizadas necesitan un nivel básico de conocimiento para su adecuado funcionamiento y

mantenimiento. La carencia de personal local que esté capacitado puede provocar que los sistemas instalados se deterioren o sean abandonados con rapidez (Lozada et al., 2025). Es esencial invertir en programas de capacitación y asistencia técnica permanente que fortalezcan a las comunidades para manejar sus propios sistemas.

La aceptación cultural y social de las tecnologías sugeridas es otro elemento clave. Las soluciones de saneamiento tienen que ser adecuadas no solo desde el punto de vista técnico, sino también desde la perspectiva cultural y adecuarse a las prácticas y necesidades de la sociedad. La perdurabilidad de los sistemas a largo plazo presenta posiblemente el reto más difícil. Hay que asegurar que un sistema de saneamiento funcione de manera eficaz a lo largo de toda su vida útil, después de la etapa inicial del proyecto y el respaldo externo, requiere una planificación minuciosa que tenga en cuenta factores técnicos, económicos, organizativos y sociales. Esto abarca la clara delimitación de responsabilidades, la existencia de mecanismos para la recaudación de tarifas o aportes, y el acceso a repuestos y asistencia técnica cuando sea necesario.

Para garantizar que un sistema de saneamiento trabaje adecuadamente durante toda su vida útil, después del periodo inicial del proyecto y el apoyo externo, es necesario realizar una planificación detallada que considere aspectos técnicos, económicos, organizativos y sociales. Esto incluye la delimitación precisa de responsabilidades, la disponibilidad de mecanismos para recaudar tarifas o contribuciones y el acceso a piezas de repuesto y asistencia técnica cuando sea necesario.

La participación de la comunidad es indispensable, promueve la apropiación social de las tecnologías facilita su implementación y puede orientar al uso responsable de las mismas lo que permite lograr el éxito y garantizar el saneamiento ambiental.

2.3.El rol crucial de la gestión comunitaria y la participación ciudadana

En Colombia, en muchas áreas rurales, se ha vivido históricamente la gestión comunitaria del agua y el saneamiento. En estas regiones, las comunidades han creado sus propios sistemas y métodos de organización para acceder a estos servicios esenciales ante la falta o insuficiencia de la provisión estatal. El marco jurídico colombiano ha progresado para admitir este papel. El Artículo 365 de la Constitución Política de 1991 establece que, además del Estado y los individuos, las comunidades organizadas tienen la capacidad de ofrecer servicios públicos (Torres, 2024).

La participación activa de los ciudadanos es un elemento esencial en todas las etapas de un proyecto de saneamiento descentralizado, desde el diagnóstico inicial y la elección de la tecnología más adecuada hasta la planificación, la construcción, así como la operación, el mantenimiento y el seguimiento a largo plazo. Un enfoque participativo no solamente garantiza que la solución aplicada cumpla con las expectativas y habilidades de la comunidad, sino que además promueve un sentimiento de responsabilidad y propiedad, aspectos fundamentales para la sostenibilidad (Matos et al., 2024). El desafío es conciliar el reconocimiento de la autonomía comunitaria con la exigencia de garantizar estándares mínimos en cuanto a la calidad del servicio y la protección del medio ambiente; se trata de hallar un balance que respete los modos de actuar de las comunidades sin descuidar las metas de sostenibilidad y salud pública.

3. Conclusiones

El saneamiento descentralizado es un método estratégico para disminuir las desigualdades entre las áreas urbanas y rurales en Colombia. Con el uso de tecnologías como los sistemas modulares, los humedales construidos y los biodigestores, se pueden obtener soluciones sostenibles que incluyan beneficios técnicos, medioambientales y sociales. La colaboración entre sectores, el apoyo de las instituciones y el fortalecimiento de las comunidades son más decisivos que la sofisticación tecnológica para que estas estrategias sean exitosas. Al invertir en saneamiento descentralizado, no solamente se beneficia el medio ambiente y la salud, sino también el desarrollo a nivel local y la equidad territorial.

Bibliografía

- Becerra-Perenguez, D. Y., Acosta-Astaiza, C. P., & Leyton-Luna, J. (2024). Gestión del recurso hídrico en la ruralidad, mediante estrategias de fortalecimiento comunitario. *Entramado*, 20(1), 1.
- Betancur, L. F. H. (2025). La Gestión Comunitaria del Agua y el Saneamiento Básico.
- Bustos Murillo, F. A., & Pulido Aponte, A. E. (2023). Tratamiento de aguas residuales en Colombia y sistemas bioelectroquímicos: Usos y perspectivas. *Tecnura*, 27(78), 111–129. <https://doi.org/10.14483/22487638.19390>
- Corficolombiana. (2024). Agua potable y saneamiento: un sector clave para el desarrollo sostenible en Colombia. Departamento de Investigaciones Económicas, Sectoriales y de Mercado.
- Guauque Torres, C. (2024). La gestión de esquemas de acueducto y saneamiento básico rural por parte de comunidades organizadas. *Derecho y Realidad*, 22(43), 107–122.

- Guerrero Gaviria, K. M. (2024). Acceso al agua potable y saneamiento básico en áreas rurales de Colombia: un análisis de los programas de desarrollo con enfoque territorial.
- Jimenez, F. M., Moreno López, J. A., Encalada Zumba, M. C., & Vargas Peralvo, E. A. (2024). Análisis de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales: una revisión bibliográfica. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 27(1), e684.
- Lozada, E. J. O., Rengifo, Y. P., & Alzate, L. A. (2025). Narrativas digitales para un agua segura: empoderando comunidades a través de la potabilización. *Revista Interamericana de Investigación Educación y Pedagogía RIIEP*, 18(2), 125-149.
- Matos, M. G., Coquies, U., & Núñez, R. (2024). Gestión comunitaria de los servicios públicos: Las mesas técnicas de agua como herramienta para el desarrollo comunitario.
- Mazo, C. G., Mejía, K. A., Naranjo-Fernández, D., Vargas, T. B., Valencia, J. O., & Cardona, P. A. V. (2025). Alternativas de Tratamiento Terciario de Aguas Residuales Domésticas para Viviendas Dispersas Rurales en Zonas de Interés Hidrogeológico. *Revista EIA*, 22(44), 4408-pp.
- Monzón-Reyes, B. L., González-Moreno, H. R., Month, A. E. Á., Peralta Vega, A. J., Ballut-Dajud, G., & Sandoval Herazo, L. C. (2025). Wastewater Management Strategies in Rural Communities Using Constructed Wetlands: The Role of Community Participation. *Earth*, 6(2), 18.
- Orozco, P. Q. (2025). El reconocimiento de Costa Rica al derecho humano al agua potable y saneamiento: Retos frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. *Revista Jurídica IUS Doctrina*, 18(1), 27-27.
- Pino Panchi, E. O., Pilay Mero, J. W., Drouet Candell, A. E., & Tomalá Tomalá, A. V. (2025). Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 9(25), 177-190.
- Saldías, C., & Rodríguez, M. (2025). Avances y desafíos del tratamiento descentralizado de aguas residuales en américa latina: Revisión sistemática 2013-2024. *Investigación & Desarrollo*, 25(1), 5-20.
- Sánchez-Hernández, W. A., Arévalo-Toscano, J., & Sánchez-Hernández, L. (2024). Análisis de la producción de biogás a partir de desechos agrícolas mediante un biodigestor anaeróbico. *Revista Ingenio*, 22(1), 1–6.
- Zurita-Martínez, F., & Sandoval-Herazo, L. C. (2024). La tecnología de los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. *Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad*, 3(1), 6–10.