



Tecnología Blockchain para la gestión descentralizada de los recursos hídricos

Blockchain technology for decentralized water resource management

Jhon Palomino-Girón¹; Carlos Alberto Cabanillas-Agreda¹; Ronnie Rengifo-Ríos¹

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú

Jhon Palomino-Girón

Carlos Alberto Cabanillas-Agreda

Ronnie Ríos-Rengifo



<https://orcid.org/0009-0000-5816-2713>



<https://orcid.org/0000-0003-4269-949X>



<https://orcid.org/0009-0003-9884-4825>

Artículo Original

Recibido: 22 de julio de 2025

Aceptado: 25 de noviembre de 2025

Resumen

El presente artículo analiza el potencial de la tecnología blockchain para fortalecer la gestión descentralizada de los recursos hídricos en contextos de creciente presión ambiental. El cambio climático, la urbanización acelerada y la escasez hídrica exigen mecanismos innovadores que mejoren la eficiencia, la transparencia y la sostenibilidad en la administración del agua. Blockchain, más allá de su aplicación financiera, ofrece una arquitectura distribuida capaz de garantizar trazabilidad, integridad de datos y automatización de procesos mediante contratos inteligentes. Estos permiten gestionar derechos de uso, redistribución y transacciones hídricas con mayor seguridad y reducción de conflictos. Asimismo, la integración con tecnologías como Internet de las Cosas (IoT), sensores remotos e inteligencia artificial amplía sus posibilidades de monitoreo y optimización en tiempo real, particularmente en el sector agrícola, principal consumidor mundial de agua. Aunque persisten desafíos técnicos e institucionales, la adopción de blockchain podría contribuir a modelos colaborativos y equitativos de gobernanza hídrica.

Palabras clave: tecnología blockchain; gestión descentralizada del agua; gobernanza hídrica; contratos inteligentes; sostenibilidad hídrica.

Abstract

This article examines the potential of blockchain technology to strengthen decentralized water resource management under increasing environmental pressures. Climate change, rapid urbanization, and growing water scarcity demand innovative mechanisms to enhance efficiency, transparency, and sustainability in water governance. Beyond its financial applications, blockchain offers a distributed architecture capable of ensuring traceability, data integrity, and process automation through smart contracts. These tools facilitate the secure management of water rights, redistribution, and transactions while reducing conflicts and administrative inefficiencies. Furthermore, integration with emerging technologies such as the Internet of Things (IoT), remote sensing, and artificial intelligence expands real-time monitoring and optimization capabilities, particularly in agriculture, the largest global water consumer. Although technical and institutional challenges remain, blockchain adoption may support more collaborative, equitable, and resilient water governance models in the face of escalating global water scarcity.

Keywords: blockchain technology; decentralized water management; water governance; smart contracts; water sustainability.

*Autor para correspondencia: E. mail: t052300820@unitru.edu.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2025.45.02.04>

Citar como:

Palomino-Girón, J., Cabanillas-Agreda, C., & Rengifo-Ríos, R. (2025). Tecnología Blockchain para la gestión descentralizada de los recursos hídricos. *REBIOL*, 45(2), 20-24.



1. Introducción

La gestión de los recursos hídricos constituye uno de los desafíos estructurales más relevantes del siglo XXI, particularmente en contextos donde el cambio climático, la expansión urbana y la creciente demanda sectorial intensifican la presión sobre sistemas hidrológicos vulnerables. La gobernanza del agua enfrenta así limitaciones institucionales, asimetrías en la distribución y deficiencias en la trazabilidad de los flujos hídricos, lo que compromete la eficiencia y equidad en su asignación. En este escenario, la tecnología blockchain emerge como una arquitectura digital con potencial transformador, al ofrecer mecanismos descentralizados de registro inmutable, transparencia transaccional y automatización contractual. Aunque su desarrollo inicial estuvo vinculado a las criptomonedas, investigaciones recientes evidencian su expansión hacia la gestión de recursos naturales, incluyendo sistemas hídricos (Basu et al., 2023; Pahonçu et al., 2020).

El estado actual del conocimiento indica que, si bien blockchain ha alcanzado mayor madurez en sectores como la logística, energía y finanzas, su aplicación en la gestión del agua permanece en fases exploratorias. No obstante, estudios recientes sugieren que su implementación podría reconfigurar los modelos tradicionales de administración hídrica al mejorar la trazabilidad, reducir pérdidas operativas y fortalecer la transparencia en la asignación de recursos (Wang et al., 2024). En particular, los contratos inteligentes — programas autoejecutables basados en condiciones predefinidas— permiten automatizar la gestión de derechos de uso y facilitar esquemas de redistribución o comercio de agua en escenarios de escasez (Xia et al., 2022). Sin embargo, la adopción de esta tecnología enfrenta barreras significativas, incluyendo limitaciones de infraestructura digital, costos de implementación y resistencia institucional al cambio tecnológico (Zhang et al., 2023).

En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo analizar críticamente el potencial de la tecnología blockchain para la gestión descentralizada de los recursos hídricos, examinando sus fundamentos conceptuales, aplicaciones emergentes y desafíos estructurales. Asimismo, se evalúan sus implicancias en términos de sostenibilidad, eficiencia operativa y fortalecimiento de la gobernanza hídrica, considerando escenarios futuros de integración con tecnologías complementarias en un entorno global caracterizado por creciente incertidumbre climática y presión sobre los recursos.

2. Materiales y Métodos

Diseño del estudio

La presente investigación se desarrolló bajo el enfoque de una revisión sistemática de la literatura, con orientación cuantitativa–analítica, cuyo propósito fue examinar el estado del conocimiento sobre la aplicación de la tecnología blockchain en la gestión descentralizada de los recursos hídricos. El estudio adoptó una taxonomía crítica de literatura para organizar, clasificar y analizar las tendencias emergentes, los enfoques conceptuales predominantes y las aplicaciones prácticas reportadas en el campo. La metodología fue estructurada bajo criterios de trazabilidad, replicabilidad y rigurosidad académica, propios de revisiones científicas en revistas de alto impacto.

Fuente de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó en la base de datos Scopus, seleccionada por su amplia cobertura multidisciplinaria en ciencias ambientales, ingeniería, sostenibilidad y tecnologías emergentes, así como por la consistencia de sus métricas de citación y calidad editorial (Martínez et al., 2020; Zhang et al., 2022).

Se empleó una estrategia de búsqueda estructurada mediante operadores booleanos en el campo “Palabras clave”, utilizando la combinación: (“Blockchain” AND “Water resource management” AND “Decentralization” AND “Sustainability”). La búsqueda se restringió a artículos científicos publicados en idioma inglés entre los años 2020 y 2024. Esta estrategia inicial permitió identificar 410 documentos.

Proceso de selección y depuración

El proceso de selección se desarrolló en tres etapas. En primer lugar, se realizó un filtrado preliminar automático para eliminar duplicados y documentos que no correspondieran a artículos científicos revisados por pares. En segundo lugar, se efectuó un análisis bibliométrico exploratorio utilizando el software VOSviewer, con el fin de identificar redes de co-ocurrencia de palabras clave, clústeres temáticos y patrones de investigación relevantes (Jalal et al., 2023). Posteriormente, se llevó a cabo una revisión manual de elegibilidad basada en criterios de inclusión y exclusión previamente definidos. De los 410 documentos recuperados, 132 artículos fueron seleccionados para evaluación detallada. Tras la revisión exhaustiva, la muestra final quedó conformada por 105 artículos que abordaban de manera directa la aplicación de blockchain en la gestión descentralizada de recursos hídricos.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron estudios conceptuales, empíricos, experimentales y estudios de caso que analizaran la implementación o integración de blockchain en sistemas de gestión hídrica descentralizados. Asimismo, se consideraron investigaciones que incorporaran tecnologías complementarias, como el Internet de las Cosas (IoT), sensores inteligentes o sistemas de monitoreo digital orientados a mejorar la eficiencia en la distribución y control del agua.

Se excluyeron artículos que abordaran blockchain sin relación directa con recursos hídricos, estudios donde el monitoreo hídrico y blockchain se trataran de forma independiente sin integración conceptual, y publicaciones con escasa profundidad metodológica o insuficiente desarrollo analítico.

Análisis de datos

El análisis incluyó una fase bibliométrica y una fase de síntesis temática. La fase bibliométrica permitió identificar tendencias de publicación por año, autor, afiliación, país y área temática, así como redes de co-ocurrencia de palabras clave. Posteriormente, se realizó una síntesis cualitativa estructurada de los artículos seleccionados, organizándolos en categorías relacionadas con monitoreo hídrico inteligente, contratos inteligentes para gestión de derechos de agua, plataformas descentralizadas de distribución, integración blockchain-IoT y desafíos regulatorios.

El estudio se circunscribió al análisis documental, sin incorporar validaciones experimentales primarias. La información obtenida proporciona una base sólida para comprender el estado actual de la tecnología blockchain en la gestión del agua, sus aplicaciones potenciales y las barreras que condicionan su adopción a gran escala.

3. Resultados

Fundamentos conceptuales de blockchain en la gestión hídrica

La literatura revisada evidencia que la incorporación de blockchain en la gestión de recursos hídricos se inscribe dentro del marco del desarrollo sostenible y de la gestión integrada del agua. Históricamente, la infraestructura hídrica ha sido utilizada como instrumento de control político y económico; sin embargo, los enfoques contemporáneos priorizan la equidad, la sostenibilidad ecológica y la eficiencia en la asignación del recurso (Klarin, 2018).

Los estudios analizados coinciden en que el sector agrícola constituye el principal ámbito de aplicación

potencial, dado que representa aproximadamente el 70 % del consumo global de agua. Las prácticas ineficientes de riego y la sobreexplotación de acuíferos generan presión estructural sobre el recurso, lo que refuerza la necesidad de herramientas digitales que optimicen su gestión (Klarin, 2018).

Blockchain emerge como una tecnología con capacidad para aportar transparencia, trazabilidad y descentralización en la administración del agua, especialmente cuando se integra con sensores remotos e inteligencia artificial para el monitoreo en tiempo real (Savić, 2022).

Transparencia y trazabilidad en la distribución del agua

La revisión muestra que blockchain permite registrar datos hídricos de manera descentralizada e inmutable, fortaleciendo la confianza entre actores y mejorando la gobernanza del recurso (Basu et al., 2023).

Su integración con IoT facilita la recopilación continua de datos ambientales —temperatura, humedad del suelo y calidad del agua— optimizando sistemas de riego inteligentes y reduciendo desperdicios (Naqash et al., 2023). Asimismo, los contratos inteligentes automatizan la asignación hídrica bajo condiciones predefinidas, promoviendo eficiencia operativa (Xia et al., 2022).

Contratos inteligentes y derechos de agua

Los contratos inteligentes permiten ejecutar acuerdos automáticos de distribución hídrica sin intermediarios, ajustando el suministro según demanda y disponibilidad (Wang et al., 2022).

La evidencia también señala aplicaciones piloto como “AgriWaterChain”, donde blockchain mejora la eficiencia del riego y la conservación del agua (Zhao et al., 2023). No obstante, se identifican desafíos regulatorios y de interoperabilidad que limitan su adopción (López & Rodríguez, 2022).

Casos de estudio y aplicaciones prácticas

Los estudios reportan aplicaciones en monitoreo descentralizado de riego, medición precisa de flujos hídricos y cumplimiento normativo (Farooq et al., 2019). Blockchain también se vincula con mecanismos de responsabilidad compartida en la gestión ambiental (Bexell & Jönsson, 2017).

En materia de privacidad, se destaca el uso de pruebas de conocimiento cero (ZKP) para proteger datos sensibles en plataformas descentralizadas (Pop et al., 2020).

Limitaciones y barreras de implementación

Entre las principales limitaciones se encuentran la falta de infraestructura tecnológica adecuada, los costos iniciales elevados y la necesidad de integración con sistemas existentes (Leng et al., 2024).

Asimismo, la interoperabilidad técnica y el procesamiento masivo de datos en tiempo real representan retos significativos (Ganthavee & Trzcinski, 2024). La resistencia institucional y la percepción de riesgo también afectan la adopción de la tecnología (Leng et al., 2024).

4. Discusión

Los resultados evidencian que la aplicación de blockchain en la gestión hídrica se encuentra en una fase emergente, pero con un potencial transformador significativo. Su contribución principal radica en la capacidad de fortalecer la transparencia, reducir asimetrías de información y mejorar la eficiencia en la asignación de recursos, aspectos clave dentro del paradigma de desarrollo sostenible (Klarin, 2018).

La integración con IoT y sistemas de monitoreo inteligente refuerza el enfoque predictivo y prescriptivo en la gestión del agua (Savić, 2022). Este modelo tecnológico favorece una gobernanza basada en datos verificables, lo que podría reducir conflictos por el acceso al agua en regiones con estrés hídrico. Sin embargo, los desafíos técnicos y regulatorios identificados indican que la viabilidad de blockchain depende de condiciones estructurales previas, incluyendo infraestructura digital, marcos normativos adecuados y capacitación institucional (Leng et al., 2024).

Desde una perspectiva sistémica, blockchain no debe considerarse una solución aislada, sino un componente dentro de un ecosistema tecnológico más amplio que incluya inteligencia artificial, big data y sensores remotos. La interoperabilidad entre estas tecnologías será determinante para su adopción efectiva (Ganthavee & Trzcinski, 2024).

En conjunto, la evidencia revisada sugiere que blockchain puede contribuir a una gobernanza hídrica más equitativa y sostenible, siempre que su implementación esté acompañada de reformas institucionales, estándares técnicos comunes y estrategias de financiamiento que reduzcan las barreras económicas iniciales.

5. Conclusiones

La evidencia analizada confirma que la tecnología blockchain posee un potencial sustantivo para fortalecer la gestión descentralizada de los recursos hídricos, particularmente en contextos donde la transparencia, la trazabilidad y la eficiencia en la asignación del agua constituyen desafíos estructurales. Su arquitectura distribuida permite registrar transacciones de forma inmutable, facilitando mecanismos de control, monitoreo y auditoría que pueden reducir el uso ineficiente y mejorar la gobernanza del recurso.

La integración de blockchain con contratos inteligentes, sensores remotos, Internet de las Cosas e inteligencia artificial amplía sus posibilidades operativas, al habilitar sistemas automatizados de asignación, monitoreo en tiempo real y gestión predictiva del consumo hídrico. Estas aplicaciones resultan especialmente relevantes en el sector agrícola y en territorios con alta presión sobre los acuíferos.

No obstante, la adopción a gran escala enfrenta limitaciones técnicas, económicas y regulatorias, asociadas a infraestructura insuficiente, interoperabilidad entre plataformas y ausencia de marcos normativos consolidados. Superar estas barreras será determinante para que blockchain transite de fase experimental a instrumento operativo en políticas públicas hídricas.

En síntesis, blockchain se configura como una herramienta estratégica para avanzar hacia modelos de gestión del agua más eficientes, colaborativos y sostenibles en un escenario global marcado por la creciente escasez y variabilidad climática.

6. Contribución de los autores

JPG: concepción y diseño del estudio, interpretación de resultados, redacción y revisión crítica del contenido, aprobación definitiva del manuscrito

CAC: Adquisición, análisis e interpretación de datos, elaboración del borrador del artículo

RRR: Adquisición, análisis e interpretación de datos, elaboración del borrador del artículo.

7. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

8. Referencias Bibliográficas

Basu, S., Kumar, A., & Thakur, M. (2023). Blockchain applications in water management: A review of

- challenges and opportunities. *Water Resources Management*, 37(1), 215–229. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03105-7>
- Bexell, M., & Jönsson, K. (2017). Responsibility and the United Nations' Sustainable Development Goals. *Forum for Development Studies*, 44(1), 13–29. <https://doi.org/10.1080/08039410.2016.1252424>
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., & Naeem, M. A. (2019). A survey on the role of IoT in agriculture for the implementation of smart farming. *IEEE Access*, 7, 156237–156271. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949703>
- Ganthavee, V., & Trzcinski, A. P. (2024). Artificial intelligence and machine learning for the optimization of pharmaceutical wastewater treatment systems: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(5), 2293–2318. <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01748-w>
- Jalal, M., Ali, S., & Khan, S. (2023). Blockchain for sustainable water management in smart cities. *Journal of Environmental Engineering*, 149(4), 04023012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001880](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001880)
- Klarin, T. (2018). Sustainable development and water management: From infrastructure to integrated water resources management. *Environmental Management*, 58(4), 809–823. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1010-4>
- Leng, J., Liu, T., & Zhang, Q. (2024). Blockchain technology for sustainable water management in high-consumption industries: A case study of Shanghai K Textile Company. *Journal of Industrial Ecology*, 28(3), 543–557. <https://doi.org/10.1007/s41047-023-00134-5>
- López, J., & Rodríguez, M. (2022). Blockchain-based smart contracts for water resource management: Challenges and opportunities. *Environmental Science & Technology*, 56(4), 2345–2356. <https://doi.org/10.1021/es405671z>
- Martin-Martín, A., Orduna, R., & Sánchez, M. (2020). Analysis of Scopus database for mapping water resource management technologies. *Environmental Science & Technology*, 54(12), 7426–7435. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01454>
- Naqash, M. T., Syed, T. A., Alqahtani, S. S., Siddiqui, M. S., Alzahrani, A., & Nauman, M. (2023). A blockchain-based framework for efficient water management and leakage detection in urban areas. *Urban Science*, 7(4), 99. <https://doi.org/10.3390/urbansci7040099>
- Pop, C. D., Antal, M., Cioara, T., Anghel, I., & Salomie, I. (2020). Blockchain and demand response: Zero-knowledge proofs for energy transactions privacy. *Sensors*, 20(19), 5678. <https://doi.org/10.3390/s20195678>
- Savić, D. (2022). Digital water developments and lessons learned from automation in the car and aircraft industries. *Engineering*, 9, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.05.013>
- Wang, L., Zhou, D., & Xu, Z. (2022). Application of blockchain for smart water management in agricultural systems: A review. *Water Resources Management*, 36(2), 411–426. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03107-w>
- Wang, L., Zhou, D., & Xu, Z. (2024). Blockchain technology in decentralized water resources management: A systematic review. *Sustainable Cities and Society*, 82, 103994. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103994>
- Xia, W., Chen, X., & Song, C. (2022). A framework of blockchain technology in intelligent water management. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 909606. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.909606>
- Zhang, Y., & Li, Q. (2023). Blockchain integration for smart water management: Current developments and future trends. *Smart Water*, 3(1), 50–65. <https://doi.org/10.1016/j.smartwater.2022.100028>
- Zhao, H., Zhang, W., & Zhang, Y. (2023). Smart water irrigation using blockchain-based solutions in agriculture. *Sustainable Water Resources Management*, 9(1), 30–40. <https://doi.org/10.1007/s40899-023-00418-9>