



Use of adaptive systems for the sustainable management of water and water resources

Uso de sistemas adaptativos para la gestión sostenible del agua y recursos hídricos

Teresa de Carmen Cabrera Gómez¹  

Manuel Cerecedo García¹  

Nicolas Cabrera Hidalgo¹  

¹ Instituto Tecnológico de Tapachula. Tapachula, México

Recibido: 03-01-2026 | Revisado: 27-02-2026 | Aceptado: 30-03-2026 | Publicado: 31-03-2026

Autor de correspondencia: Teresa del Carmen Cabrera Gómez 

ABSTRACT

Objective: To analyze the relationship between adaptive water resource management and water sustainability in recharge zones in the face of climate change. **Methodology:** A quantitative, non-experimental, cross-sectional and correlational-explanatory research was carried out, with a sample of 287 participants linked to the use, management, operation and planning of water. The information was collected through a Likert-type questionnaire validated by expert judgment, with adequate levels of reliability. **Results:** Adaptive management reached a medium-high level, with better ratings in participatory governance and community learning; however, the monitoring of the resource and the use of technologies showed opportunities for improvement. Water sustainability was also at a medium-high level, although it presented weaknesses in climate resilience and compliance with protection measures. The correlational analysis showed a positive, high and significant relationship between both variables, and the regression identified monitoring, participatory governance and decision-making as the main predictors. **Conclusions:** Strengthening adaptive management contributes to protecting recharge areas, improving water sustainability and increasing territorial resilience.

Keywords: adaptive management, water sustainability, water recharge, water governance, climate change.

RESUMEN

Objetivo: Analizar la relación entre la gestión adaptativa del recurso hídrico y la sostenibilidad hídrica en zonas de recarga frente al cambio climático. **Metodología:** Se desarrolló una investigación cuantitativa, no experimental, transversal y correlacional-explicativa, con una muestra de 287 participantes vinculados al uso, administración, operación y planificación del agua. La información se recolectó mediante un cuestionario tipo Likert validado por juicio de expertos, con adecuados niveles de confiabilidad. **Resultados:** La gestión adaptativa alcanzó un nivel medio-alto, con mejores valoraciones en gobernanza participativa y aprendizaje comunitario; sin embargo, el monitoreo del recurso y el uso de tecnologías evidenciaron oportunidades de mejora. La sostenibilidad hídrica también se ubicó en nivel medio-alto, aunque presentó debilidades en resiliencia climática y cumplimiento de medidas de protección. El análisis correlacional mostró una relación positiva, alta y significativa entre ambas variables, y la regresión identificó al monitoreo, la gobernanza participativa y la toma de decisiones como principales predictores. **Conclusiones:** Fortalecer la gestión adaptativa contribuye a proteger las zonas de recarga, mejorar la sostenibilidad hídrica y aumentar la resiliencia territorial.

Palabras clave: gestión adaptativa, sostenibilidad hídrica, recarga hídrica, gobernanza del agua, cambio climático.

INTRODUCCIÓN

La gestión del recurso hídrico es uno de los aspectos que constituyen un desafío para la sostenibilidad del territorio, en especial, en los espacios de recarga hídrica que se encuentran sujetos a variabilidad climática, a presión por parte de sistemas de cultivo, a crecimiento poblacional muy intenso o a descomposición ambiental. Estos espacios se vuelven estratégicos en lo que respecta a acciones de infiltración, almacenamiento y regulación del agua, por lo que su protección está condicionada a modelos de gestión que sean capaces de responder a escenarios cambiantes y a demandas sociales cada vez más complejas. De esta forma, la gestión adaptativa aparece como una respuesta a visiones tradicionales de la gestión porque considera la flexibilidad, el aprendizaje social, la participación de actores y la capacidad de ajuste a la incertidumbre climática (Pahl-Wostl, 2007; Pahl-Wostl, 2009).

Desde la gobernanza del agua, la sostenibilidad no depende solamente de la disponibilidad física del recurso gestionado, sino de la forma en que instituciones, comunidades y usuarios coordinan decisiones, responsabilidades y mecanismos de protección. Huitema et al. (2009) indican que la gobernanza adaptativa permite el análisis de los arreglos institucionales y de la participación social como elementos esenciales para el tratamiento de problemas hídricos complejos. Complementariamente, Akamani (2023) también menciona que la gobernanza adaptativa favorece la transición hacia estrategias de adaptación basadas en ecosistemas.

La incertidumbre asociada al cambio climático ha impulsado nuevas formas de planificación hídrica orientadas a decisiones flexibles y sostenibles. Haasnoot et al. (2012) plantean que los sistemas hídricos sometidos a cambios ambientales requieren trayectorias de gestión capaces de ajustarse en el tiempo. Posteriormente, Haasnoot et al. (2013) desarrollaron el enfoque de rutas dinámicas de política adaptativa, útil para tomar decisiones robustas en contextos de alta incertidumbre. En esta misma línea, Kwakkel et al. (2015) señalan que las estrategias adaptativas pueden fortalecerse mediante herramientas de apoyo a la decisión, mientras que Haasnoot et al. (2024) resaltan que la adaptación efectiva exige monitoreo, aprendizaje continuo y capacidad institucional para modificar las acciones cuando las condiciones cambian.

El cambio climático ha incrementado la presión sobre los sistemas hídricos al modificar patrones de precipitación, disponibilidad de agua, eventos extremos y condiciones de uso en territorios agrícolas y comunitarios. Loucks (2022) advierte que estos desafíos requieren decisiones más innovadoras y adaptativas. Asif et al. (2023) también señalan que los impactos climáticos sobre los recursos hídricos demandan estrategias sostenibles de manejo, orientadas a la eficiencia, protección y resiliencia. Por su parte, Tsakiris (2023) sostiene que la gestión adaptativa del agua debe integrar la incertidumbre hidrológica y promover respuestas preventivas, flexibles e integradas.

Se coinciden estudios recientes en la necesidad de que la gestión sostenible del agua asuma las dimensiones ambiental, social, tecnológica e institucional. Lyra y Loukas (2022) afirman que la evaluación de escenarios de gestión sería una herramienta para orientar decisiones adaptativas en cuencas agrícolas. En el campo de la gestión del agua en contextos de cambio climático, Ciampittiello y cols. (2024) afirman que es fundamental partir de marcos de gestión de carácter global que consideren la variabilidad climática y la presión de las actividades humanas. En esta línea, Dai y cols. (2025) sostienen que la gestión inteligente del agua es la intersección entre la innovación tecnológica y la gobernanza para el desarrollo de políticas orientadas a la sostenibilidad ecológica y económica.

Asimismo, la gestión del agua en los países en desarrollo está condicionada, en parte, por la escasa disponibilidad de información, las dificultades de control sobre los sistemas de gestión del recurso hídrico, la escasa monitorización y articulación institucional. Desde este punto de vista, Makanda y otros (2025) proponen fortalecer los sistemas de apoyo a la toma de decisiones para evaluar el cumplimiento de las medidas de protección del agua. En la misma línea García-Ávila y cols. (2026), para los acuíferos, afirman que las estrategias de la gestión adaptativa pueden ayudar a mejorar la calidad del agua y la sostenibilidad.

A pesar de estos avances, todavía existe la necesidad de generar evidencia empírica sobre la relación entre la gestión adaptativa y la sostenibilidad hídrica en territorios donde interactúan usuarios comunitarios, actores institucionales y sistemas productivos. Gran parte de la literatura se ha concentrado en enfoques conceptuales, modelos de planificación o análisis de política, pero son menos frecuentes los estudios que examinan esta relación desde contextos locales de recarga hídrica. Por ello, la presente investigación tiene como objetivo analizar la relación entre la gestión adaptativa del recurso hídrico y la sostenibilidad en zonas de recarga hídrica frente al cambio climático.

El estudio busca aportar evidencia útil para fortalecer la planificación territorial, la gobernanza del agua y las estrategias de protección de fuentes en escenarios de creciente vulnerabilidad ambiental.

METODOLOGÍA

Enfoque y diseño de investigación

El estudio fue conducido bajo una perspectiva cuantitativa, con diseño no experimental, transversal y alcance correlacional-explicativo. Fue no experimental porque las variables no fueron manipuladas, sino que se analizó tras su manifestación en el contexto de estudio. Fue transversal ya que la recogida de la información se concretó en un periodo de aplicación, y correlacional-explicativo porque intentamos determinar la relación entre la gestión adaptativa del recurso hídrico y la sostenibilidad hídrica, así como también el peso predictivo de sus dimensiones principales. La investigación se dirigió hacia el análisis de zonas de recarga hídrica asociadas a sistemas comunitarios, agrícolas e institucionales de gestión del agua. Dicha clase de diseño hizo posible poder analizar la percepción de diferentes actores involucrados en el uso, administración, operación y planificación del recurso hídrico, ya que reafirma que la sostenibilidad del agua depende de factores ambientales así como de decisiones sociales, técnicas e institucionales.

Población y muestra

La población estuvo conformada por usuarios, representantes comunitarios, técnicos, operadores y actores institucionales relacionados con la gestión del recurso hídrico en zonas de recarga. Para la selección de los participantes se utilizó un muestreo estratificado por tipo de actor, con el propósito de incorporar distintas perspectivas dentro del sistema de gestión del agua.

La muestra quedó integrada por 287 participantes, distribuidos entre usuarios de sistemas comunitarios de agua y riego, representantes de juntas o comités de agua, técnicos u operadores y actores institucionales locales. Esta composición permitió obtener información tanto de quienes utilizan directamente el recurso como de quienes participan en su administración, control o planificación.

Los criterios de inclusión fueron: ser mayor de 18 años, residir o trabajar en una zona vinculada con recarga hídrica, tener relación directa con el uso, administración, operación o planificación del agua y aceptar voluntariamente participar en el estudio. Se excluyeron encuestas incompletas, respuestas duplicadas y participantes sin vinculación directa con el sistema hídrico analizado.

Variables de estudio

Tabla 1. Distribución de la muestra según tipo de actor

Tipo de participante	Frecuencia	Porcentaje
Usuarios de sistemas comunitarios de agua y riego	214	74.6%
Representantes de juntas, comités o asociaciones de agua	42	14.6%
Técnicos u operadores vinculados a la gestión hídrica	18	6.3%
Actores institucionales locales	13	4.5%
Total	287	100%

Nota. Porcentajes calculados sobre 287 participantes vinculados con uso, gestión, operación o planificación hídrica.

La variable independiente fue la gestión adaptativa del recurso hídrico, entendida como el conjunto de prácticas, decisiones y capacidades orientadas a responder de manera flexible a los cambios ambientales, climáticos e institucionales que afectan la disponibilidad y uso del agua. Esta variable se organizó en seis dimensiones: gobernanza participativa, monitoreo del recurso, flexibilidad institucional, aprendizaje comunitario, uso de tecnologías y toma de decisiones.

La variable dependiente fue la sostenibilidad hídrica, concebida como la capacidad del sistema para mantener la disponibilidad, calidad, eficiencia, equidad y resiliencia del recurso en el tiempo.

Esta variable se estructuró en seis dimensiones: disponibilidad del agua, calidad del recurso, eficiencia en el uso, equidad en la distribución, resiliencia climática y cumplimiento de medidas de protección.

Tabla 2. Operacionalización de las variables

Variable	Dimensiones	Escala de medición
Gestión adaptativa del recurso hídrico	Gobernanza participativa, monitoreo, flexibilidad institucional, aprendizaje comunitario, uso de tecnologías y toma de decisiones	Likert de 5 puntos
Sostenibilidad hídrica	Disponibilidad, calidad, eficiencia, equidad, resiliencia climática y cumplimiento de medidas de protección	Likert de 5 puntos

Nota. Variables medidas con escala Likert de 5 puntos, según dimensiones de gestión adaptativa y sostenibilidad hídrica.

Técnica e instrumento de recolección de datos

La técnica utilizada fue la encuesta y el instrumento fue un cuestionario estructurado compuesto por 32 ítems con escala tipo Likert de cinco niveles: 1 = totalmente en desacuerdo, 2 = en desacuerdo, 3 = ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4 = de acuerdo y 5 = totalmente de acuerdo.

El instrumento se organizó en dos bloques. El primero recogió información general de los participantes, como tipo de actor, vínculo con la gestión del agua y tiempo de relación con el sistema hídrico. El segundo bloque evaluó las dimensiones de la gestión adaptativa y la sostenibilidad hídrica. La distribución de ítems permitió medir de forma equilibrada ambas variables, evitando concentrar el análisis en una sola dimensión del problema.

Validez y confiabilidad del instrumento

La validez de contenido fue evaluada mediante juicio de siete expertos con experiencia en gestión hídrica, sostenibilidad ambiental, metodología de investigación y planificación territorial. Los criterios considerados fueron claridad, pertinencia, coherencia y relevancia de los ítems. Como resultado del proceso de validación, se realizaron ajustes menores en la redacción de cinco ítems para mejorar su comprensión por parte de los participantes.

La consistencia interna del instrumento se evaluó mediante el coeficiente alfa de Cronbach y el omega de McDonald. En la prueba piloto, aplicada a 31 participantes con características similares a la muestra final, el instrumento obtuvo un alfa de Cronbach global de 0.91 y un omega de McDonald de 0.92, valores considerados adecuados para estudios de carácter cuantitativo. En la aplicación definitiva, la confiabilidad por dimensiones se mantuvo por encima de 0.80, lo que evidenció estabilidad interna en la medición.

Procedimiento de recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante aplicación presencial y digital del cuestionario, según la disponibilidad de los participantes y las condiciones de acceso a las comunidades o instituciones. Antes de responder, se explicó el objetivo del estudio, el carácter voluntario de la participación y la confidencialidad de la información.

El proceso de aplicación se desarrolló en tres fases. En la primera se identificaron los actores vinculados con los sistemas hídricos y zonas de recarga. En la segunda se aplicó el cuestionario a los participantes seleccionados según los estratos definidos. En la tercera se revisaron las respuestas, se depuraron registros incompletos y se consolidó la base de datos para el análisis estadístico.

Análisis de datos

Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva e inferencial. En primer lugar, se calcularon frecuencias, porcentajes, medias y desviaciones estándar para describir el comportamiento de las variables y sus dimensiones. Posteriormente, se evaluó la distribución de los datos mediante pruebas de normalidad, con el fin de seleccionar los procedimientos estadísticos adecuados.

Para establecer la relación entre la gestión adaptativa del recurso hídrico y la sostenibilidad hídrica se aplicó la correlación de Spearman, considerando la naturaleza ordinal de la escala Likert y la distribución de los datos.

Además, se utilizó regresión lineal múltiple para identificar qué dimensiones de la gestión adaptativa explicaban en mayor medida la sostenibilidad hídrica. El nivel de significancia estadística adoptado fue $p < 0.05$.

Finalmente, se realizó un análisis de consistencia interna por dimensiones y una revisión de colinealidad entre predictores mediante el factor de inflación de la varianza. Esto permitió verificar la estabilidad del modelo y reducir el riesgo de interpretaciones sesgadas en los resultados.

Consideraciones éticas

La investigación respetó los principios de voluntariedad, confidencialidad y uso académico de la información. Los participantes fueron informados sobre el propósito del estudio y pudieron retirarse en cualquier momento sin consecuencia alguna. No se recolectaron datos sensibles que permitieran identificar individualmente a los encuestados, y la información obtenida fue utilizada exclusivamente con fines investigativos.

RESULTADOS

Los resultados evidenciaron que la gestión adaptativa del recurso hídrico presentó una valoración general media-alta entre los participantes, con una media global de 3.71. Las dimensiones mejor valoradas fueron la gobernanza participativa y el aprendizaje comunitario, mientras que el uso de tecnologías y el monitoreo del recurso obtuvieron puntuaciones menores, lo que sugiere limitaciones en el seguimiento técnico y en la incorporación de herramientas digitales para la gestión del agua.

En cuanto a la sostenibilidad hídrica, la media global fue de 3.64, lo que refleja una percepción favorable, aunque no completamente consolidada. Las dimensiones con mayor puntuación fueron la disponibilidad del agua y la equidad en la distribución. En contraste, la resiliencia climática y el cumplimiento de medidas de protección presentaron medias más bajas, lo cual indica que persisten debilidades en la capacidad del sistema para responder a sequías, variabilidad climática y presiones ambientales.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de la gestión adaptativa del recurso hídrico

Dimensión	Media	Desviación estándar	Nivel
Gobernanza participativa	3.89	0.74	Alto
Monitoreo del recurso hídrico	3.52	0.81	Medio
Flexibilidad institucional	3.67	0.78	Medio-alto
Aprendizaje comunitario	3.82	0.72	Alto
Uso de tecnologías	3.41	0.86	Medio
Toma de decisiones	3.76	0.75	Medio-alto
Gestión adaptativa global	3.71	0.77	Medio-alto

Nota. Escala Likert de 1 a 5, donde valores más altos indican una percepción más favorable de la gestión adaptativa.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos de la sostenibilidad hídrica

Dimensión	Media	Desviación estándar	Nivel
Disponibilidad del agua	3.78	0.79	Medio-alto
Calidad del recurso	3.61	0.82	Medio-alto
Eficiencia en el uso	3.58	0.80	Medio
Equidad en la distribución	3.74	0.76	Medio-alto
Resiliencia climática	3.46	0.87	Medio
Cumplimiento de medidas de protección	3.39	0.89	Medio
Sostenibilidad hídrica global	3.64	0.82	Medio-alto

Nota. Escala Likert de 1 a 5. La clasificación de niveles se realizó a partir de los rangos bajo, medio y alto definidos para el estudio.

La confiabilidad del instrumento fue adecuada en todas las dimensiones evaluadas. El alfa de Cronbach global fue de 0.91 y el omega de McDonald alcanzó 0.92, lo que demuestra una alta consistencia interna. A nivel de dimensiones, los valores oscilaron entre 0.81 y 0.89, superando el criterio mínimo aceptable de 0.70 para estudios cuantitativos.

El análisis correlacional mostró una relación positiva, alta y estadísticamente significativa entre la gestión adaptativa del recurso hídrico y la sostenibilidad hídrica. El coeficiente de Spearman fue de 0.684, con un nivel de significancia menor a 0.001. Este resultado indica que, a mayor desarrollo de prácticas de gestión adaptativa, mayor es la percepción de sostenibilidad hídrica en las zonas de recarga analizadas.

Tabla 5. Confiabilidad del instrumento por dimensiones

Variable / dimensión	Alfa de Cronbach	Omega de McDonald
Gobernanza participativa	0.86	0.87
Monitoreo del recurso hídrico	0.84	0.85
Flexibilidad institucional	0.82	0.83
Aprendizaje comunitario	0.88	0.89
Uso de tecnologías	0.81	0.82
Toma de decisiones	0.85	0.86
Sostenibilidad hídrica	0.89	0.90
Instrumento global	0.91	0.92

Nota. Los valores obtenidos indican consistencia interna adecuada en todas las dimensiones del instrumento.

Tabla 6. Correlación entre gestión adaptativa y sostenibilidad hídrica

Variables relacionadas	Rho de Spearman	Sig. bilateral	Interpretación
Gestión adaptativa del recurso hídrico – Sostenibilidad hídrica	0.684	0.000	Relación positiva alta

Nota. La correlación es significativa al nivel $p < 0.001$.

Al analizar las dimensiones de la gestión adaptativa, se identificó que el monitoreo del recurso hídrico presentó la correlación más alta con la sostenibilidad hídrica, seguido de la gobernanza participativa, la toma de decisiones y el uso de tecnologías. Esto evidencia que la sostenibilidad del agua no depende únicamente de la participación comunitaria, sino también de la capacidad para generar información, dar seguimiento al estado del recurso y tomar decisiones oportunas.

Finalmente, el modelo de regresión lineal múltiple permitió identificar el peso explicativo de las dimensiones de la gestión adaptativa sobre la sostenibilidad hídrica. El modelo fue estadísticamente significativo, con un R^2 ajustado de 0.53, lo que indica que el 53% de la variabilidad de la sostenibilidad hídrica puede explicarse por las dimensiones de la gestión adaptativa incluidas en el análisis.

Tabla 7. Correlaciones entre dimensiones de gestión adaptativa y sostenibilidad hídrica

Dimensión de gestión adaptativa	Rho de Spearman con sostenibilidad hídrica	Sig. bilateral
Gobernanza participativa	0.612	0.000
Monitoreo del recurso hídrico	0.641	0.000
Flexibilidad institucional	0.537	0.000
Aprendizaje comunitario	0.584	0.000
Uso de tecnologías	0.596	0.000
Toma de decisiones	0.603	0.000

Nota. Todas las correlaciones fueron positivas y significativas al nivel $p < 0.001$.

Tabla 8. Modelo de regresión lineal múltiple para la sostenibilidad hídrica

Predictor	Beta estandarizado	t	Sig.
Monitoreo del recurso hídrico	0.291	5.84	0.000
Gobernanza participativa	0.224	4.67	0.000
Toma de decisiones	0.183	3.92	0.000
Uso de tecnologías	0.169	3.51	0.001
Aprendizaje comunitario	0.142	2.98	0.003
Flexibilidad institucional	0.108	2.31	0.021

Nota. Variable dependiente: sostenibilidad hídrica. $R^2 = 0.54$; R^2 ajustado = 0.53; $F = 55.82$; $p < 0.001$.

Los resultados permiten aceptar la existencia de una relación significativa entre la gestión adaptativa del recurso hídrico y la sostenibilidad hídrica. Además, muestran que el monitoreo, la gobernanza participativa y la toma de decisiones son los factores con mayor capacidad explicativa dentro del modelo. En conjunto, estos hallazgos indican que las zonas de recarga hídrica requieren no solo participación comunitaria, sino también información técnica, seguimiento constante y mecanismos institucionales flexibles que permitan responder a los efectos del cambio climático y a las presiones sobre el recurso.

DISCUSIÓN

Los resultados del estudio evidenciaron una relación positiva, alta y estadísticamente significativa entre la gestión adaptativa del recurso hídrico y la sostenibilidad hídrica en zonas de recarga. Este hallazgo confirma que la sostenibilidad del agua no depende únicamente de la existencia física del recurso, sino de la capacidad de los actores locales e institucionales para organizar, monitorear, ajustar y sostener decisiones frente a escenarios de presión ambiental y cambio climático. En este sentido, la gestión adaptativa se posiciona como un componente clave para fortalecer la protección de fuentes, mejorar la distribución del agua y aumentar la resiliencia de los sistemas hídricos.

La dimensión con mayor capacidad explicativa fue el monitoreo del recurso hídrico, lo que demuestra que la disponibilidad de información técnica y el seguimiento periódico del estado del agua son condiciones fundamentales para tomar decisiones oportunas. Este resultado coincide con Kelly et al. (2023), quienes sostienen que la adaptación de estrategias de riego dentro de la temporada permite mejorar la respuesta frente a cambios en la disponibilidad hídrica. De forma similar, Giupponi y Sgobbi (2013) destacan que los sistemas de apoyo a la decisión son relevantes para mejorar la gestión del agua en países en desarrollo, especialmente cuando existen limitaciones institucionales y técnicas.

La gobernanza participativa también presentó una relación importante con la sostenibilidad hídrica. Esto indica que la participación de usuarios, juntas de agua, técnicos y actores institucionales favorece la corresponsabilidad en la protección del recurso. Este hallazgo se relaciona con Pollard et al. (2023), quienes resaltan que la gobernanza adaptativa requiere procesos de retroalimentación sistémica que permitan aprender, ajustar y mejorar las decisiones colectivas. Asimismo, Ribeiro y Johnsson (2018) señalan que la gobernanza del agua se fortalece cuando existen patrones de coordinación entre actores, reglas compartidas y mecanismos de gestión que superan la acción aislada de las instituciones.

El uso de tecnologías mostró una valoración media y una correlación significativa con la sostenibilidad hídrica. Aunque no fue la dimensión más alta, su influencia confirma que las herramientas tecnológicas pueden contribuir al monitoreo, la eficiencia y la planificación del recurso. Este resultado es coherente con Lakhia et al. (2024), quienes señalan que las tecnologías de riego de precisión pueden mejorar la eficiencia en el uso del agua, el rendimiento productivo y la reducción de impactos ambientales. También se relaciona con Oğuztürk (2025), quien destaca que los sistemas de riego impulsados por inteligencia artificial pueden apoyar una gestión más sostenible mediante automatización, análisis de datos y optimización del consumo hídrico.

La flexibilidad institucional obtuvo el menor peso predictivo dentro del modelo, aunque mantuvo una relación significativa con la sostenibilidad. Este resultado sugiere que las instituciones y organizaciones locales pueden tener disposición para adaptarse, pero aún presentan limitaciones para modificar normas, procedimientos o respuestas ante escenarios cambiantes. Esta situación coincide con Dias et al. (2022), quienes advierten que la gobernanza adaptativa y la seguridad hídrica en contextos de cambio climático requieren estructuras institucionales capaces de responder con mayor coordinación y aprendizaje. En consecuencia, la sostenibilidad hídrica no solo exige participación comunitaria, sino también instituciones con capacidad real de ajuste.

El aprendizaje comunitario obtuvo una valoración alta, lo que demuestra que las comunidades reconocen la importancia de la experiencia local, la transmisión de conocimientos y la cooperación en la gestión del agua. Sin embargo, su peso predictivo fue menor que el monitoreo y la gobernanza, lo que indica que el conocimiento comunitario necesita articularse con información técnica y decisiones institucionales para producir mayores efectos en la sostenibilidad. Marques et al. (2020) sostienen que la gobernanza del agua debe comprenderse como una red de actores dentro de sistemas socioecológicos, donde las relaciones, conocimientos y prácticas locales influyen en la gestión del recurso.

Los resultados también muestran que la sostenibilidad hídrica fue percibida en un nivel medio-alto, pero con debilidades en resiliencia climática y cumplimiento de medidas de protección. Esto evidencia que, aunque existen prácticas favorables, todavía persisten riesgos asociados con sequías, presión agrícola, deterioro de zonas de recarga y limitada capacidad de control. En el contexto urbano latinoamericano, Pineda-Morales et al. (2025) advierten que la gestión doméstica del agua y la gobernanza adaptativa enfrentan desafíos vinculados con desigualdad, institucionalidad fragmentada y presión sobre los sistemas de abastecimiento. Estos aspectos permiten comprender que la sostenibilidad hídrica requiere intervenciones diferenciadas según las condiciones territoriales.

En conjunto, los hallazgos permiten afirmar que la gestión adaptativa constituye un factor determinante para la sostenibilidad del recurso hídrico en zonas de recarga. El modelo estadístico explicó el 53% de la variabilidad de la sostenibilidad hídrica, lo cual demuestra una capacidad explicativa considerable. No obstante, también indica que existen otros factores que podrían influir en el fenómeno, como condiciones climáticas específicas, cobertura vegetal, presión productiva, calidad de la infraestructura, financiamiento, cumplimiento normativo y cultura ambiental de los usuarios.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados sugieren que las estrategias de protección de zonas de recarga hídrica deben priorizar el fortalecimiento del monitoreo, la gobernanza participativa y la toma de decisiones basada en evidencia. Además, es necesario incorporar tecnologías accesibles, mejorar la capacidad institucional y promover procesos de aprendizaje comunitario orientados a la acción. La sostenibilidad del agua no puede abordarse como un problema únicamente técnico ni exclusivamente social; requiere una integración entre información, participación, regulación, tecnología y corresponsabilidad territorial.

Finalmente, el estudio aporta evidencia empírica para comprender cómo la gestión adaptativa puede mejorar la sostenibilidad hídrica en escenarios de cambio climático. La principal contribución radica en demostrar que las dimensiones de monitoreo, gobernanza, tecnología y toma de decisiones tienen un papel significativo en la protección del recurso. Como limitación, el estudio se basó en información transversal, por lo que futuras investigaciones podrían incorporar diseños longitudinales, mediciones directas de calidad del agua o modelos comparativos entre distintas zonas de recarga. Aun así, los resultados ofrecen una base útil para orientar políticas públicas, planes comunitarios y estrategias institucionales de gestión sostenible del agua.

CONCLUSIONES

El estudio permitió establecer que hay una relación positiva, fuerte y significativa entre la gestión adaptativa del agua y la sostenibilidad hídrica de las zonas de recarga. Este resultado muestra que al momento en el que las comunidades, las instituciones y los actores técnicos implementan prácticas de control, de participación, de toma de decisiones y de aprendizaje colectivo fortalecen las condiciones para poder conservar el agua, mejorar su uso y por tanto responder con más capacidad al cambio climático.

La variable de monitoreo del agua fue la que mayor peso tuvo en el modelo, lo que muestra que la información que se genera, el seguimiento y control periódico de las fuentes y el estado de la misma, son aspectos clave para la gestión de la misma desde una mirada de sostenibilidad. Sin datos confiables y con los sistemas de control que se impongan las decisiones serán reactiva y limitadas, en cambio, el monitoreo permite anticipar riesgos, problemas y guiar acciones de protección.

La gobernanza participativa también se consolidó como un factor relevante para la sostenibilidad hídrica. La participación de usuarios, juntas de agua, técnicos y actores institucionales favorece la corresponsabilidad en el cuidado del recurso, reduce la toma de decisiones aislada y permite construir acuerdos más adecuados a las necesidades del territorio. Esto confirma que la sostenibilidad del agua no puede depender únicamente de acciones técnicas, sino de procesos colectivos de organización y gestión.

Los resultados mostraron que el uso de tecnologías y la toma de decisiones basada en información contribuyen de manera significativa a mejorar la sostenibilidad del recurso hídrico. Sin embargo, estas dimensiones aún presentan oportunidades de fortalecimiento, especialmente en territorios donde existen limitaciones de acceso a herramientas digitales, sistemas de medición, capacitación técnica o recursos institucionales. Por ello, la incorporación de tecnologías debe ser progresiva, contextualizada y articulada con las capacidades locales.

La sostenibilidad del agua presenta una calificación de medio-alta, pero muestra debilidades en resiliencia climática y aplicación de medidas de protección. Esto significa que existen usos de prácticas apropiables en las zonas recarga analizadas, pero existe riesgo por sequías, deterioro del medioambiente, presión productiva y limitaciones en recursos y en la capacidad para responder frente al cambio del clima.

En términos generales, el estudio corrobora que la gestión adaptativa es efectiva en incrementar la sostenibilidad hídrica de las zonas de recarga. La gran aportación del estudio consiste en aportar la participación social, control de la práctica, aprendizaje, tecnología y flexibilidad institucional como elementos importantes en la protección del recurso agua ante escenarios de incertidumbre climática. Esto permite dar sentido a políticas públicas, programas comunitarios y estrategias institucionales de conservación de fuentes hídricas, mejoras de la eficiencia del uso del agua y resiliencia territorial.

Referencias

1. Akamani, K. (2023). The roles of adaptive water governance in enhancing the transition towards ecosystem-based adaptation. *Water*, 15(13), 2341. <https://doi.org/10.3390/w15132341>
2. Asif, Z., Chen, Z., Sadiq, R., & Zhu, Z. (2023). Climate change impacts on water resources and sustainable water management strategies in North America. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03474-4>
3. Ciampittiello, M., Marchetto, A., & Boggero, A. (2024). Water resources management under climate change: A review. *Sustainability*, 16(9), 3590. <https://doi.org/10.3390/su16093590>
4. Dai, Y., Huang, Z., Khan, N., & Labbo, M. S. (2025). Smart water management: Governance innovation, technological integration, and policy pathways toward economic and ecological sustainability. *Water*, 17(13), 1932. <https://doi.org/10.3390/w17131932>
5. Dias, E. M. S., Pessoa, Z. S., & Teixeira, R. L. P. (2022). Adaptive governance and water security in the context of climate change in the semi-arid. *Mercator*, 21, e21025. <https://doi.org/10.4215/rm2022.e21025>
6. García-Ávila, F., Rojas-Yanzaguano, M., Roldán-Lata, A., Valdiviezo-Gonzales, L., Alfaro-Paredes, E., & Avilés-Añazco, A. (2026). Adaptive management strategies for the improvement of water quality and sustainability in water recharge areas. *Sustainable Futures*, 11, Article 101610. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101610>
7. Giupponi, C., & Sgobbi, A. (2013). Decision support systems for water resources management in developing countries: Learning from experiences in Africa. *Water*, 5(2), 798–818. <https://doi.org/10.3390/w5020798>
8. Haasnoot, M., Di Fant, V., Kwakkel, J., & Lawrence, J. (2024). Lessons from a decade of adaptive pathways studies for climate adaptation. *Global Environmental Change*, 88, Article 102907. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102907>
9. Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., & ter Maat, J. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A new method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change*, 23(2), 485–498. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.006>
10. Haasnoot, M., Middelkoop, H., Offermans, A., van Beek, E., & van Deursen, W. P. A. (2012). Exploring pathways for sustainable water management in river deltas in a changing environment. *Climatic Change*, 115(3–4), 795–819. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0444-2>
11. Huitema, D., Mostert, E., Egas, W., Moellenkamp, S., Pahl-Wostl, C., & Yalcin, R. (2009). Adaptive water governance: Assessing the institutional prescriptions of adaptive co-management from a governance perspective and defining a research agenda. *Ecology and Society*, 14(1), Article 26. <https://doi.org/10.5751/ES-02827-140126>
12. Kelly, T. D., Foster, T., & Schultz, D. M. (2023). Assessing the value of adapting irrigation strategies within the season. *Agricultural Water Management*, 275, Article 107986. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107986>
13. Kwakkel, J. H., Haasnoot, M., & Walker, W. E. (2015). Developing dynamic adaptive policy pathways: A computer-assisted approach for developing adaptive strategies for a deeply uncertain world. *Climatic Change*, 132, 373–386. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1210-4>
14. Lakhari, I. A., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., He, B., Hao, B., Han, Y., Wang, B., Bao, R., Syed, T. N., Chauhdary, J. N., & Rakibuzzaman, M. (2024). A review of precision irrigation water-saving technology under changing climate for enhancing water use efficiency, crop yield, and environmental footprints. *Agriculture*, 14(7), 1141. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071141>
15. Loucks, D. P. (2022). Meeting climate change challenges: Searching for more adaptive and innovative decisions. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03227-9>
16. Lyra, A., & Loukas, A. (2022). Simulation and evaluation of water resources management scenarios under climate change for adaptive management of coastal agricultural watersheds. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03392-x>
17. Makanda, K., Nzama, S., & Kanyerere, T. (2025). Putting water resource protection into practice: A decision support system to assess compliance with predefined protection limits for water resources in developing countries. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Article 102538. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102538>
18. Marques, A. R., Toniolo, M. A., Lahsen, M., Pulice, S., Branco, E. A., & Alves, D. S. (2020). Water governance in Vale do Paraíba Paulista: Network of actors and socioecological systems. *Ambiente & Sociedade*, 23, e01381. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190139r1vu2020L2DE>
19. Oğuztürk, G. E. (2025). AI-driven irrigation systems for sustainable water management: A systematic review and meta-analytical insights. *Smart Agricultural Technology*, 11, Article 100982. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100982>
20. Pahl-Wostl, C. (2007). Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water Resources Management*, 21, 49–62. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9040-4>
21. Pahl-Wostl, C. (2009). A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*, 19(3), 354–365. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001>
22. Pineda-Morales, S. J., Ortega-Argueta, A., Ruiz-de-Oña-Plaza, C., García-García, A., Camacho-Valdéz, V., & Cortez-Lara, A. A. (2025). A review of domestic water management and adaptive governance in urban Latin America. *Discover Sustainability*, 6, Article 754. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01643-6>
23. Pollard, S. R., Riddell, E., du Toit, D. R., Retief, D. C., & Ison, R. L. (2023). Toward adaptive water governance: The role of systemic feedbacks for learning and adaptation in the eastern transboundary rivers of South Africa. *Ecology and Society*, 28(1), Article 47. <https://doi.org/10.5751/ES-13726-280147>

24. Ribeiro, N. B., & Johnsson, R. M. F. (2018). Discussions on water governance: Patterns and common paths. *Ambiente & Sociedade*, 21. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0125r2vu18L1AO>
25. Tsakiris, G. P. (2023). Adaptive water resources management under climate change. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03518-9>

Financiación

Los autores no recibieron financiamiento para el desarrollo de esta investigación.

Conflictos de interés

Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.

Contribución de autoría

Conceptualización: Teresa de Carmen Cabrera Gómez, Manuel Cerecedo García,

Curación de datos: Teresa de Carmen Cabrera Gómez, Nicolas Cabrera Hidalgo.

Análisis formal: Manuel Cerecedo García, Nicolas Cabrera Hidalgo.

Investigación: Teresa de Carmen Cabrera Gómez, Manuel Cerecedo García, Nicolas Cabrera Hidalgo.

Metodología: Teresa de Carmen Cabrera Gómez, Manuel Cerecedo García.

Administración del proyecto: Teresa de Carmen Cabrera Gómez.

Recursos: Manuel Cerecedo García, Nicolas Cabrera Hidalgo.

Software: Nicolas Cabrera Hidalgo.

Supervisión: Teresa de Carmen Cabrera Gómez, Manuel Cerecedo García.

Validación: Manuel Cerecedo García, Nicolas Cabrera Hidalgo.

Visualización: Teresa de Carmen Cabrera Gómez, Nicolas Cabrera Hidalgo.

Redacción – Borrador original: Teresa de Carmen Cabrera Gómez, Nicolas Cabrera Hidalgo.

Redacción – Revisión y edición: Teresa de Carmen Cabrera Gómez, Manuel Cerecedo García, Nicolas Cabrera Hidalgo.