



Sistematización de variables para evaluar beneficios hídricos de infraestructura verde mediante la contabilidad volumétrica del agua

Systematization of variables to evaluate water benefits of green infrastructure through volumetric water accounting

Ericka Michell Ochoa Nuño¹ , Jorge Armando Gutiérrez-Valencia¹ , Francisco José Martín del Campo Saray² , María Silvia del Rocío Covarrubias Ruesga¹ , Ignacio Barajas-Ávalos¹

¹Instituto Tecnológico de Colima, Avenida Tecnológico 1 A.P. 10 y 128, Villa de Álvarez, 28976 Cdad. de Villa de Álvarez, Colima, México.

²Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica El Grullo, Ejutla Km 5 Col. Puerta de Barro CP 48740, El Grullo, Jalisco, México.

Autor de correspondencia: Ericka Michell Ochoa Nuño, Instituto Tecnológico de Colima, Avenida Tecnológico 1 A.P. 10 y 128, Villa de Álvarez, 28976 Cdad. de Villa de Álvarez, Colima, México. Correo electrónico: michellochoa68@gmail.com. ORCID: 0009-0004-0724-8137.

Recibido: 16 de abril del 2026

Aceptado: 13 de agosto del 2026

Publicado: 25 de agosto del 2026

Resumen. - La creciente incorporación de infraestructura verde en contextos urbanos exige herramientas que permitan medir los beneficios hídricos que estas soluciones generan; sin embargo, las metodologías de contabilidad del agua existentes emplean conjuntos de variables diversas, lo que dificulta su estandarización y aplicación práctica en proyectos. El objetivo de este estudio es analizar metodologías de contabilidad volumétrica del agua para identificar y sistematizar las variables que intervienen en la evaluación de beneficios hídricos que tienen relación con infraestructura verde, a partir de una matriz de análisis comparativo. Todo esto se llevó a cabo a través de una revisión sistemática de la literatura y el análisis de nueve marcos metodológicos sobre contabilidad hídrica, donde se seleccionaron tres metodologías publicadas en 2019 y 2025 por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), con el propósito de identificar y comparar los indicadores empleados en la evaluación de los beneficios hídricos en contextos urbanos. La selección de estas metodologías respondió a su relevancia académica, su aplicación en la gestión integral del agua y su desarrollo reciente. En este sentido, el análisis se realizó mediante el método PRISMA 2020, considerando la Contabilidad Volumétrica de Beneficios del Agua (VWBA), la Contabilidad Volumétrica de Beneficios del Agua 2.0 (VWBA 2.0) y la Guía de Contabilidad de Beneficios de la Calidad del Agua (WQBA). Los resultados permitieron identificar que las metodologías VWBA y VWBA 2.0 comparten variables fundamentales como la precipitación media anual, el área de captación, el coeficiente de escorrentía y el volumen capturado, constituyendo la base para la cuantificación de beneficios volumétricos. Asimismo, se determinó que la principal diferencia metodológica radica en la incorporación de variables de calidad del agua por parte de la metodología WQBA, lo que amplía su alcance, pero incrementa sus requerimientos de información. En este contexto se propone una base metodológica y conceptual de variables orientada a la regulación de inundaciones urbanas, que contribuye a evaluaciones más integrales, comparables y replicables en proyectos futuros de infraestructura verde.

Palabras clave: Gestión de sistemas hídricos; Infraestructura verde; Contabilidad volumétrica del agua.

Abstract. - The increasing incorporation of green infrastructure in urban contexts demands tools to measure the water benefits these solutions generate. However, existing water accounting methodologies employ diverse sets of variables, hindering their standardization and practical application in projects. This study aims to analyze volumetric water accounting methodologies to identify and systematize the variables involved in evaluating water benefits related to green infrastructure, using a comparative analysis matrix. This was achieved through a systematic literature review and the analysis of nine methodological frameworks on water accounting. Three methodologies published between 2019 and 2025 by the World Resources Institute (WRI) were selected to identify and compare the indicators used in evaluating water benefits in urban contexts. These methodologies were chosen based on their academic relevance, their application in integrated water management, and their recent development. In this regard, the analysis was conducted using the PRISMA 2020 method, considering Volumetric Water Benefits Accounting (VWBA), Volumetric Water Benefits Accounting 2.0 (VWBA 2.0), and the Water Quality Benefits Accounting Guide (WQBA). The results revealed that the VWBA and VWBA 2.0 methodologies share fundamental variables such as mean annual precipitation, catchment area, runoff coefficient, and captured volume, forming the basis for quantifying volumetric benefits. Furthermore, it was determined that the main methodological difference lies in the incorporation of water quality variables by the WQBA methodology, which broadens its scope but increases its information requirements. In this context, a methodological and conceptual framework of variables oriented toward urban flood control is proposed, contributing to more comprehensive, comparable, and replicable assessments in future green infrastructure projects.

Keywords: Water systems management; Green infrastructure; Volumetric water accounting.



1. Introducción

La gestión de los recursos hídricos en contextos urbanos enfrenta desafíos cada vez más complejos derivados del cambio climático y de actividades antropogénicas, como la expansión urbana, el aumento del consumo de los recursos, el crecimiento poblacional acelerado y la degradación ambiental; generando escenarios de estrés hídrico que comprometen la disponibilidad y calidad del agua en ciudades y zonas periurbanas [1] [2]. Entre las principales consecuencias de estos procesos destaca el incremento de las inundaciones urbanas, asociado a la impermeabilización del suelo, la modificación de cauces naturales, la canalización de ríos y la pérdida de ecosistemas reguladores del ciclo hidrológico, lo que ha reducido bastante la capacidad natural de infiltración, captación y almacenamiento del agua [3].

En América Latina, estas problemáticas aumentan debido a los procesos de urbanización no planificada, generando problemáticas socio-ecológicas recurrentes, como inundaciones, contaminación y deterioro de los cuerpos de agua [4]. Estas dinámicas, sumadas a una gobernanza débil y a la persistencia de modelos tradicionales de gestión basados en infraestructura gris y esquemas de drenaje rápido-convencional, favorecen la evacuación del agua pluvial sin considerar su aprovechamiento o regulación; lo que incrementa la vulnerabilidad urbana, especialmente en zonas con menores condiciones socioeconómicas [5].

La literatura científica documenta que estos eventos generan impactos significativos en la población, la infraestructura, la economía y los ecosistemas, los cuales se intensifican bajo escenarios de cambio climático, evidenciando la urgencia de adoptar medidas de resiliencia y adaptación hídrica [6]. En este sentido, resulta necesario incorporar enfoques cuantitativos integrales que permitan mejorar la gestión y evaluación de los sistemas hídricos urbanos.

El agua debe reconocerse como un derecho humano indispensable para la vida, el desarrollo social y el desarrollo económico. En México persisten desigualdades en el acceso a este recurso; pues mientras que la cobertura de agua potable alcanza aproximadamente el 95 % en zonas urbanas, en regiones rurales se reduce considerablemente [2]. Asimismo, la Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] señala que, con base en datos de 2021 y 2022, México recibe anualmente aproximadamente 1,464,734 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación, de los cuales el 71.7% se evapotranspira, el 22% escurre superficialmente y solo el 6.3 % se infiltra al suelo, lo que evidencia la necesidad de fortalecer su gestión [7].

Este líquido vital es reconocido como un bien público federal, finito y vulnerable, cuya protección constituye una responsabilidad compartida, conforme lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales [LAN] [8]. Este reconocimiento se articula con los derechos fundamentales consagrados en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [CPEUM], particularmente el derecho a un medio ambiente sano y el derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico. Asimismo, estos derechos han sido reforzados por organismos como la Comisión Nacional de los Derechos Humanos [CNDH] [9] [10], que los reconoce como elementos esenciales para garantizar condiciones de vida dignas.

En este panorama, la literatura destaca a la infraestructura verde [IG], los sistemas urbanos de drenaje sostenible [SUDS] y a las soluciones basadas en la naturaleza [SbN] como estrategias clave para mitigar



los efectos de la impermeabilización urbana y favorecer la restauración del ciclo hidrológico, al promover procesos de infiltración, retención y depuración del agua pluvial. En este sentido, las Naciones Unidas [NU] subrayan que los ecosistemas asociados al agua son esenciales para proporcionar agua limpia, regular sequías, inundaciones y conservar la biodiversidad [11]. Asimismo, la infraestructura verde mejora la resiliencia urbana al reducir la escorrentía y favorecer la infiltración [12], mientras que las soluciones basadas en la naturaleza aprovechan procesos ecológicos para generar beneficios en la gestión del agua, la biodiversidad, el paisaje urbano y el bienestar comunitario [13].

Desde la ingeniería ecológica, diversos sistemas urbanos de drenaje sostenible, como jardines de lluvia, zanjas de infiltración y humedales artificiales, se consideran soluciones basadas en la naturaleza al imitar procesos de retención, infiltración y depuración del agua pluvial [14]. Bajo esta perspectiva, la infraestructura verde es reconocida como una estrategia clave para modernizar la gestión hídrica, mejorar la eficiencia en el uso del agua y reducir la contaminación, además de contar con aceptación social que favorece su permanencia y apropiación comunitaria [11] [15]. En este artículo, la infraestructura verde se entiende como el conjunto de estrategias que integran, soluciones basadas en la naturaleza y sistemas urbanos de drenaje sostenible al entorno urbano. Sin embargo, a pesar de la creciente implementación de estas estrategias, persiste una limitación importante en la capacidad de medir y comparar de manera estandarizada los beneficios hídricos que estas intervenciones generan.

En este sentido, la contabilidad volumétrica del agua surge como una herramienta para cuantificar los beneficios hídricos asociados a estrategias de gestión urbana. Este enfoque permite analizar los flujos y reservas de agua mediante métricas comparables, facilitando la toma de decisiones basada en evidencia [16]. No obstante, la diversidad de metodologías y la variabilidad en los conjuntos de variables e indicadores dificultan la comparabilidad de resultados, lo que hace necesario analizar y sistematizar los enfoques existentes. La contabilidad hídrica se vincula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS] de la Agenda 2030, particularmente con el ODS 6 sobre agua limpia y saneamiento, asimismo con los ODS 11, 13 y 15 [17], lo que refuerza la necesidad de contar con herramientas que permitan evaluar con precisión el desempeño de las intervenciones en la gestión del agua [18].

En este sentido, el problema central de investigación radica en la falta de estandarización de variables para la evaluación de beneficios hídricos en infraestructura verde, lo que genera inconsistencias en la medición, comparabilidad y replicabilidad de resultados

A partir de este vacío, el objetivo de este estudio es analizar metodologías de contabilidad volumétrica del agua para identificar y sistematizar las variables que intervienen en la evaluación de beneficios hídricos que tienen relación con la infraestructura verde, a partir de una matriz de análisis comparativo. Donde se plantean los siguientes objetivos específicos para su cumplimiento: (1) analizar metodologías de contabilidad volumétrica del agua aplicadas a la evaluación de beneficios hídricos; (2) identificar aquellas metodologías que resulten pertinentes para su aplicación en contextos urbanos mediante estrategias de gestión pluvial; (3) construir una matriz de análisis comparativo que permita evaluar de manera estructurada las metodologías seleccionadas; (4) finalmente, identificar los métodos de cálculo y las variables relevantes para la evaluación de beneficios hídricos asociados a la captación pluvial y la regulación de inundaciones.

Para ello, se adoptó un enfoque comparativo basado en el análisis de nueve metodologías, de las cuales seis no resultaron pertinentes para los objetivos de esta investigación, debido a que no cumplen



simultáneamente con los criterios clave establecidos. En consecuencia, se seleccionaron tres desarrolladas por el Instituto de Recursos Mundiales [WRI]: la Contabilidad Volumétrica de Beneficios del Agua [VWBA] del 2019, su actualización Contabilidad Volumétrica de Beneficios del Agua 2.0 [VWBA 2.0] del 2025 y la Guía de Contabilidad de Beneficios de la Calidad del Agua [WQBA], también en 2025. La selección de estas metodologías responde a su relevancia académica, su aplicación en la gestión integral del agua y su carácter complementario al abordar tanto la dimensión cuantitativa como cualitativa del recurso hídrico.

El análisis se estructuró a partir de una adaptación de la metodología PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), ampliamente reconocida en la investigación científica por proporcionar una estructura rigurosa y transparente para la revisión y organización de la evidencia [19]. Este método fue seleccionado por su capacidad para organizar y comparar de manera sistemática los componentes metodológicos de diferentes enfoques. Dado que los documentos analizados corresponden a guías metodológicas y no a revisiones sistemáticas convencionales, se empleó una versión adaptada que permite identificar de manera consistente variables, métodos de cálculo y estructuras operativas.

El alcance de este estudio se centra en el análisis y la sistematización de variables relacionadas con la captación, infiltración y regulación de la escorrentía pluvial en contextos urbanos, con énfasis en la mitigación de inundaciones mediante infraestructura verde.

Como contribución, este estudio propone una estructura de variables que articula elementos provenientes del análisis de diferentes metodologías, facilitando su aplicación en proyectos de infraestructura verde y sentando las bases para el desarrollo de herramientas de evaluación más robustas en la gestión hídrica urbana. Asimismo, esta propuesta favorece su replicabilidad en distintos contextos urbanos y en diversas tipologías de infraestructura verde.

El artículo se estructura de la siguiente manera: en la sección 3 se describe la metodología empleada para la selección y análisis de las metodologías de contabilidad hídrica; en la sección 4 se presentan los resultados del análisis comparativo, integrando la discusión de los hallazgos y la sistematización de variables; finalmente, en la sección 5 se exponen las conclusiones y las líneas futuras de investigación derivadas del estudio.

2. Antecedentes

La presión creciente sobre los recursos hídricos urbanos derivada de la escasez, la contaminación y el incremento de eventos hidrometeorológicos extremos, ha impulsado enfoques integrales de gestión. En este marco, la infraestructura verde destaca como complemento a los sistemas tradicionales por su capacidad para mejorar la regulación hidrológica y la calidad del agua. También surge la necesidad de metodologías que cuantifiquen estos beneficios, lo que ha generado diversas propuestas de contabilidad del agua en entornos urbanos. Sin embargo, la heterogeneidad de enfoques dificulta su estandarización. Este apartado revisa los fundamentos sobre gestión hídrica urbana, infraestructura verde, contabilidad volumétrica y beneficios hídricos, con el fin de identificar avances, limitaciones y vacíos que justifican la contribución del estudio.



2.1 Gestión hídrica urbana

La gestión hídrica urbana se entiende como un proceso integral que articula dimensiones técnicas, ambientales y sociales. Desde un enfoque urbano-técnico, [20] se plantea que la gestión del agua debe integrarse al desarrollo urbano mediante la articulación entre el crecimiento de la ciudad y el ciclo hidrológico, promoviendo la eficiencia y diversificación de fuentes como aguas pluviales, residuales y subterráneas.

Asimismo [21] se aborda la gestión hídrica desde una perspectiva ambiental-productiva, destacando la importancia de medir el uso del agua mediante indicadores como la huella hídrica, lo que permite vincular su gestión con la sostenibilidad y la toma de decisiones. En contraste, [22] se propone un enfoque socio-territorial basado en la gobernanza, en el que la gestión del agua se concibe como un proceso colectivo que involucra múltiples actores y escalas.

En conjunto, estos enfoques evidencian avances importantes en la integración del recurso hídrico en la planificación urbana; sin embargo, también revelan una limitación común: la falta de herramientas estandarizadas que permitan evaluar de manera comparable los efectos de las intervenciones. Esta brecha metodológica dificulta la toma de decisiones basada en evidencia, lo que abre la necesidad de incorporar enfoques cuantitativos como la contabilidad del agua para fortalecer la gestión hídrica urbana.

2.2 Infraestructura verde

La infraestructura verde se configura como un concepto multidimensional dentro de la gestión hídrica urbana, al integrar componentes ecológicos, urbanos y sociales. Desde un enfoque sistémico-territorial, [4] se define como una red interconectada de espacios naturales y elementos diseñados que sostienen procesos ecológicos, destacando su carácter multifuncional y multiescalar.

Por otra parte, [23] se enfatiza que su dimensión de gestión y gobernanza señala que su implementación implica coordinación institucional, participación social y fortalecimiento de capacidades. En contraste, [24] también se aborda desde un enfoque funcional-hidrológico, destacando su capacidad para intervenir en el ciclo urbano del agua mediante procesos como infiltración, retención y regulación de escorrentías. Si bien estos enfoques coinciden en reconocer el potencial de la infraestructura verde como estrategia para la gestión hídrica urbana, también evidencian una limitación relevante: la ausencia de criterios homogéneos para medir sus efectos. La literatura tiende a describir sus beneficios de manera conceptual o cualitativa, sin una sistematización clara de variables que permita evaluar su desempeño de forma comparable. Esta situación refuerza la necesidad de incorporar metodologías de contabilidad del agua que permitan traducir sus funciones en indicadores medibles.

2.3 Contabilidad volumétrica del agua

La contabilidad volumétrica del agua se ha consolidado como una herramienta orientada a cuantificar los efectos de las intervenciones sobre el recurso hídrico, facilitando la evaluación de estrategias en distintos contextos. El enfoque de la contabilidad volumétrica de beneficios del agua (VWBA) [25], se centra en medir el volumen de agua generado, ahorrado o restituido a partir de acciones de gestión hídrica, mediante un sistema estandarizado de indicadores que permite comparar intervenciones y evaluar su contribución a la resolución de desafíos hídricos.



Mientras que el VWBA 2.0 amplía este enfoque al incorporar un marco más robusto basado en principios, indicadores y procesos replicables, enfatizando la comprensión del contexto local y la necesidad de resultados verificables [26]. Por su parte, el enfoque Contabilidad de beneficios de la calidad del agua (WQBA) introduce la dimensión de calidad del agua, incorporando indicadores relacionados con contaminantes y condiciones fisicoquímicas [27].

Si bien estos enfoques representan avances significativos en la cuantificación de beneficios hídricos, también presentan limitaciones. En particular, existe una fragmentación entre metodologías enfocadas en cantidad y aquellas centradas en calidad del agua, así como una limitada integración de variables sociales y territoriales. Esta falta de articulación dificulta el desarrollo de evaluaciones integrales, especialmente en el contexto de la infraestructura verde.

2.4 Beneficios hídricos

Los beneficios hídricos se definen como los efectos positivos derivados de acciones de gestión del agua, los cuales pueden manifestarse en términos de cantidad, calidad y gobernanza. Desde el enfoque VWBA, estos beneficios corresponden al volumen de agua generado, conservado o restituído en un periodo determinado, representando cambios positivos en la hidrología que contribuyen a la reducción de desafíos hídricos y al cumplimiento de objetivos como el ODS 6 [25]. El VWBA 2.0 amplía esta visión al considerar los beneficios como parte de una cadena que incluye resultados e impactos, vinculando los beneficios volumétricos con efectos sociales, económicos y ambientales [26].

Por su parte, el WQBA incorpora beneficios asociados a la calidad del agua, como la reducción de contaminantes y la mejora de condiciones fisicoquímicas, ampliando la comprensión del impacto de las intervenciones [27].

No obstante, la literatura muestra que los beneficios hídricos suelen abordarse de manera fragmentada, ya sea desde la cantidad o la calidad del agua, sin una integración clara que permita su evaluación conjunta. Asimismo, persiste la ausencia de una sistematización de variables que facilite su medición en contextos específicos, como la infraestructura verde en entornos urbanos. En este sentido, se identifica como principal vacío la falta de un marco integrador que permita sistematizar y evaluar de manera comparable los beneficios hídricos derivados de estrategias de infraestructura verde, lo que justifica la necesidad de desarrollar propuestas que articulen estos enfoques y contribuyan a una gestión hídrica más integral y basada en evidencia.

3. Metodología

El presente estudio se desarrolla bajo un enfoque cualitativo con un alcance analítico y comparativo, orientado a comprender y contrastar diferentes marcos metodológicos de contabilidad hídrica aplicados a la gestión del agua en contextos urbanos; con el fin de identificar sus componentes, alcances y posibles áreas de integración. Por lo anterior se realizó una revisión de la literatura sobre diferentes metodologías de contabilidad del agua como se muestra en la tabla 1.

A partir del análisis comparativo de las metodologías identificadas, se realizó un proceso de selección basado en criterios de pertinencia respecto al objeto de estudio, el cual se centra en la **cuantificación de**



beneficios hídricos en términos volumétricos en contextos urbanos, particularmente asociados a estrategias de captación pluvial e infraestructura verde.

En este sentido, se identificó que la mayoría de los enfoques revisados presentan limitaciones importantes, ya sea por su escala de análisis, por su enfoque en la eficiencia o productividad del agua en sistemas agrícolas, o bien por tratarse de marcos conceptuales, normativos o herramientas técnicas sin una estructura metodológica orientada a la evaluación de beneficios específicos. Bajo estos criterios, se seleccionaron tres guías metodológicas relevantes en el ámbito internacional: la VWBA, publicada en 2019, y sus desarrollos posteriores, VWBA 2.0 y WQBA, ambas publicadas en 2025, desarrolladas por el WRI en colaboración con diversas organizaciones técnicas, lo que respalda su validez y aplicación en distintos contextos de gestión hídrica.

El análisis de estas guías se llevó a cabo tomando como referencia la metodología PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), ampliamente utilizada para la organización y sistematización de información científica [19]. Este método fue diseñado para revisiones sistemáticas de literatura, por lo que su estructura permitió descomponer cada metodología en elementos comparables.

Sin embargo, dado que los documentos analizados son guías metodológicas y no estudios científicos convencionales, fue necesario adaptar el enfoque PRISMA; en este sentido, se identificaron y excluyeron aquellos ítems no aplicables, conservando únicamente los elementos que permitían establecer una comparación metodológica coherente entre las tres guías. Con esta adaptación, se construyó una matriz de análisis comparativo que sintetiza los ítems seleccionados y permite establecer criterios homogéneos para analizar variables, métodos, estructuras y alcances de cada guía (ver tabla 2).

Este proceso facilitó la identificación de similitudes, diferencias, vacíos y oportunidades de integración para evaluar beneficios hídricos en infraestructura verde.


Tabla 1. Comparación de metodologías.

Autor	Título	Año	Descripción general	Aplicación al estudio
Directorio de sostenibilidad	Contabilidad de la huella hídrica	2002	Metodología que cuantifica la huella hídrica (agua azul, verde y gris) asociada a productos, procesos y territorios [28].	Limitada. No mide beneficios hídricos ni volumétricos urbanos.
Agencia Vasca del Agua (URA)	Sistemas de control de volúmenes de agua derivados	2017	Lineamientos técnicos para medición de volúmenes de agua en concesiones [29].	No aplicable. No constituye una metodología de contabilidad de beneficios hídricos.
Instituto IHE Delft para la Educación sobre el Agua, FAO	Contabilidad del agua + (WA+) Framework	2018	Marco metodológico basado en la implementación de análisis de balances hídricos mediante datos geospaciales y modelación hidrológica [30].	Limitada. Opera a escala de cuenca, no está diseñada para evaluar beneficios hídricos de intervenciones urbanas específicas.
Instituto de Recursos Mundiales	Contabilidad de beneficios volumétricos del agua (VWBA)	2019	Metodología para cuantificar beneficios hídricos en términos volumétricos mediante comparación de escenarios [25].	Alta aplicabilidad. Permite evaluar beneficios hídricos de infraestructura verde en contextos urbanos.
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) e IHE Delft	Manual de metodología de productividad y contabilidad del agua	2019	Manual enfocado en eficiencia y productividad del agua en sistemas agrícolas [31].	No aplicable. Se enfoca en sistemas agrícolas y no en contextos urbanos.
Instituto IHE Delft para la Educación sobre el Agua y el Instituto Internacional de Gestión del Agua	Manual sobre productividad del agua y metodología de contabilidad del agua	2020	Manual técnico que detalla indicadores, variables y estructura metodológica del WA+ [32].	Limitada. Útil como referencia metodológica de balance hídrico, pero no para infraestructura verde urbana.
Análisis de Agrow	Volumetric Water Benefit Accounting (VWBA): Midiendo el impacto real	2023	Artículo de divulgación sobre VWBA y su aplicación en empresas [33].	Fuente secundaria de apoyo, basada en la metodología VWBA (2019).
Instituto de Recursos Mundiales	Contabilidad de beneficios volumétricos del agua 2.0 (VWBA 2.0)	2025	Actualización del VWBA con mayor rigor metodológico y trazabilidad [26].	Alta aplicabilidad. Fortalece la evaluación de beneficios hídricos en intervenciones urbanas.
Instituto de Recursos Mundiales	Contabilidad de beneficios de la calidad del agua (WQBA)	2025	Metodología para cuantificar beneficios relacionados con la calidad del agua [27].	Aplicable. Complementa el análisis volumétrico incorporando la dimensión de calidad del agua

Fuente: Elaboración propia.


Tabla 2. Adaptación del método PRISMA.

Sección	Ítem PRISMA	Elemento	Aplicabilidad	Justificación
Introducción	3	Razón fundamental	Aplicable	Explica el problema que cada metodología busca resolver.
	4	Objetivos	Sí aplica	Define el propósito y alcance del método.
	5	Criterios de elegibilidad	Aplicable (adaptado)	No aplica para estudios, sino para proyectos o intervenciones.
Métodos (adaptado)	10a	Resultados (variables principales)	Aplicable	Permite identificar las variables centrales de cuantificación y los componentes operativos de cada metodología (método + variables).
	10b	Otras variables	Aplicable	Permite comparar inputs, supuestos, contexto, indicadores y variables complementarias.
	12	Medidas de efecto	Aplicable (adaptado)	En este caso de estudio el tipo de beneficio hídrico; volumen capturado ó calidad.
	13b	Preparación de datos	Aplicable	Debido a que cada método trata datos, supuestos y escalas.
	13c	Presentación de resultados	Aplicable	Cómo se comunican los resultados; en m ³ , indicadores, etc.
	13d	Síntesis de resultados	Aplicable (adaptado)	Método de cuantificación (no metaanálisis), adaptación conceptual para fines comparativos.
Resultados (adaptado)	20a	Síntesis metodológica	Aplicable	Permite describir estructura del método, de manera simplificada.
	23a	Interpretación	Aplicable	Posicionamiento del método en el campo, posibles impactos en otros contextos.
Discusión	23b	Limitaciones	Aplicable	Fundamental para análisis crítico, que se puede y que no.
	23d	Implicaciones	Aplicable	Aporta valor científico ya que analiza las implicaciones de los resultados para la práctica, las políticas y la investigación/proyectos futuros.

Fuente: Elaboración propia adaptada del método PRISMA 2020

Finalmente, es importante señalar que el enfoque utilizado presenta algunas limitaciones. Al tratarse de un análisis cualitativo, la interpretación de los elementos metodológicos depende del criterio del investigador, lo que puede influir en la selección y análisis de variables. Además, la adaptación del método PRISMA implicó excluir componentes originales del propio método, restringiendo el análisis a elementos comparables entre metodologías. Asimismo, la aplicación de esta herramienta requiere un conocimiento previo de los métodos analizados, ya que comprender sus fundamentos es esencial para obtener resultados consistentes. La Figura 1 muestra el diagrama metodológico empleado para adaptar PRISMA y facilitar su entendimiento.

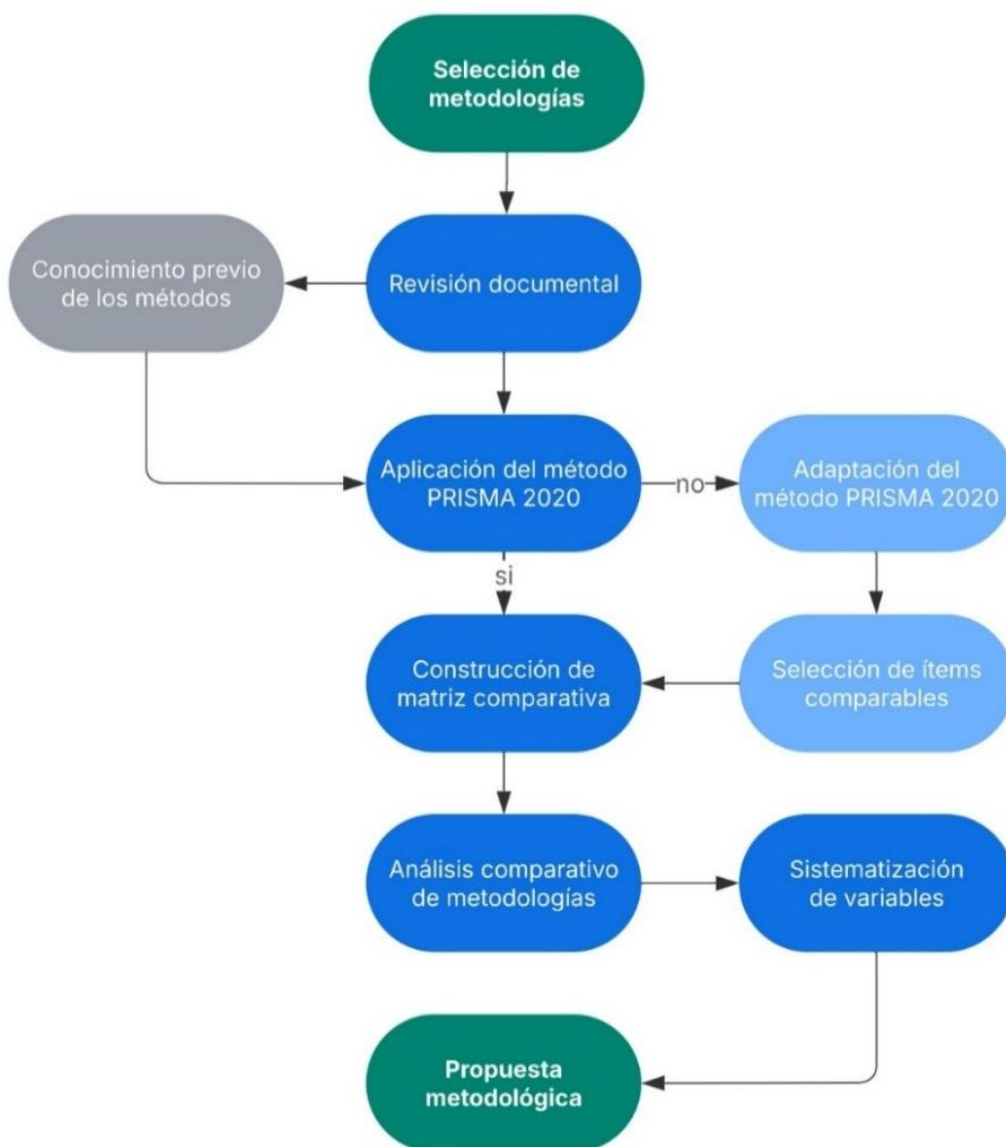


Figura 1. Diagrama de flujo metodológico adaptado del método PRISMA para el análisis comparativo de metodologías. *Fuente: Elaboración propia.*

3.1 Selección y análisis de documentos metodológicos. Contabilidad Volumétrica de Beneficios del Agua (VWBA)

La Contabilidad Volumétrica de Beneficios del Agua (VWBA) es una metodología desarrollada por WRI junto con Valuing Nature, LimnoTech y Quantis, que integra modelación hidrológica, evaluación ambiental y contabilidad de impactos para medir y comunicar los beneficios hídricos generados por intervenciones de gestión del agua. Publicada en agosto de 2019, ofrece un enfoque estandarizado para cuantificar estos beneficios en términos de volumen de agua, facilitando su comparación y seguimiento [25].



La metodología se organiza en tres etapas y, aunque su fortaleza principal es la medición cuantitativa, reconoce la importancia de incorporar indicadores sociales, ambientales y de gobernanza para una evaluación más integral. Su propósito es estimar el beneficio hídrico de una intervención como volumen de agua por unidad de tiempo ($\text{m}^3/\text{año}$), siguiendo una lógica básica: identificar el problema, definir la actividad que lo atiende y calcular el beneficio generado.

Paso 1. Identificar los desafíos hídricos compartidos y comprender el contexto local: El método indica que primero debe identificarse el desafío hídrico compartido, su causa raíz y las condiciones físicas e hidrológicas de la cuenca, por ejemplo, si el problema está relacionado con escasez, contaminación, falta de acceso, mala gobernanza o afectación de ecosistemas asociados al agua.

Paso 1.1 Identificar el desafío hídrico y su causa: Aquí se analiza cuál es el problema principal que se quiere atender. Esto ayuda a ubicar el proyecto dentro de una problemática concreta y no medir beneficios de forma aislada. Que para este artículo se considera aterrizar la problemática en el contexto urbano para reducir inundaciones mediante la captación pluvial.

Paso 1.2 Comprender actores y esfuerzos existentes: Después de identificar el problema, el método pide reconocer + qué instituciones o grupos participan en su gestión y qué proyectos ya existen en la cuenca. Esto es importante porque el VWBA no propone medir acciones desconectadas del territorio, sino intervenciones articuladas con las necesidades locales y, de ser posible, con acciones ya en marcha; es decir, antes de medir, primero hay que entender bien el contexto físico, social e institucional del agua.

Paso 2. Definir la actividad del proyecto y a los socios involucrados: Una vez entendido el problema, el segundo paso consiste en definir qué intervención se hará, con quién se realizará y cómo se repartirán los beneficios si participan varios actores. La metodología señala que las actividades deben responder al desafío hídrico identificado y contar con socios adecuados para implementarlas.

Paso 2.1 Seleccionar la actividad adecuada: Aquí se elige la acción específica que generará el beneficio hídrico. El VWBA clasifica actividades comunes en varias categorías. Siendo la categoría de calidad de agua la que aplica para esta investigación (tabla 2). Lo importante aquí es que la actividad tenga relación directa con el problema identificado en el paso 1.

Tabla 3. Clasificación de actividades de gestión sostenible del agua.

Clasificación	Actividad	Descripción
Calidad del Agua	Gestión de aguas pluviales	Infraestructura verde que incluye estanques de detención, pantanos biológicos, pavimento permeable, jardines de lluvia y otras medidas que reducen el área impermeable.

Fuente: Guía VWBA 2019

Paso 2.2 Determinar la asignación del beneficio volumétrico del agua: Si el proyecto tiene varios financiadores o socios, el VWBA indica que los beneficios volumétricos del agua deben repartirse de manera acordada antes de implementar la actividad, para evitar doble conteo o reclamos exagerados. Un criterio frecuente es la asignación según el porcentaje de aportación económica de cada socio.



Paso 3. Reunir datos y calcular los beneficios volumétricos del agua: En este apartado se mide el beneficio hídrico usando una línea base, un indicador y un método de cálculo.

Paso 3.1 Documentar la línea base: La línea base es la condición inicial o condición “sin proyecto”. Sirve para comparar lo que ocurría antes con lo que ocurre después de implementar la intervención. El método señala que la línea base puede obtenerse con información empírica existente, datos públicos, estimaciones de terceros y conocimiento local. Primero se debe tener conocimiento de cómo estaba el sistema/lugar antes de intervenirlo.

Paso 3.2 Seleccionar el indicador VWB y los indicadores complementarios: El VWBA mide el beneficio principal mediante un **indicador volumétrico**, es decir, una variable expresada como volumen de agua por unidad de tiempo. Que para este ejercicio se tomará como **indicador volumétrico, el volumen capturado**. Además, el método recomienda usar **indicadores complementarios**, estos pueden incluir beneficios como, carga contaminante reducida, superficie restaurada, especies protegidas o número de árboles plantados; y ayudan a interpretar los efectos sociales, ambientales o territoriales.

Paso 3.3 Reunir datos y aplicar el método de cálculo: Después se reúnen los datos necesarios y se calcula el beneficio. La metodología ofrece métodos de cálculo recomendados según el tipo de actividad. En este caso se utilizará el método de captura de volumen derivado del objeto del estudio.

Tabla 4. Método de cálculo recomendado según indicador VWB.

Clasificación	Actividad	Indicador VWB	Método de cálculo
Calidad del Agua	Gestión de aguas pluviales	Volumen capturado	Método de captura de volumen y/o reducción de escorrentía

Fuente: Guía VWBA 2019

El principio básico es comparar la condición de la línea base y la condición con proyecto. Por eso, aunque cada método tiene su propia fórmula, la lógica general del VWBA es:

$$\text{BENEFICIO HÍDRICO} = \text{condición con proyecto} - \text{condición sin proyecto},$$

o en algunos casos, reducción o diferencia entre ambas condiciones.

La metodología también aclara que los cálculos pueden hacerse con estimaciones simples para etapas iniciales o con métodos más robustos para reportes públicos y seguimiento formal.

Paso 3.4 Asignar y comunicar el beneficio: Una vez obtenido el VWB total, si hay varios socios se asigna la parte correspondiente a cada uno. Después, el método indica que al reportar resultados se debe comunicar el proceso claramente.

Es importante mencionar que cada guía establece métodos diferentes y a partir de estos métodos se comenzarán a definir las variables para la metodología final.



Método de captura de volumen

Este método permite estimar el beneficio volumétrico utilizando el indicador volumétrico, de volumen capturado. Se utiliza comúnmente para interceptar y retardar la escorrentía de áreas altamente impermeables, lo que ayuda a reducir el riesgo de inundaciones y mejorar la calidad del agua.

Las variables que establece este método son: tipo de estrategia, precipitación media anual (Pma), área de captación total (Ac), coeficiente de escorrentía (Ce) (existen coeficientes ya definidos correspondientes a la cobertura del suelo), superficie total de drenaje de la estrategia (Sd) y el factor de reducción de escorrentía (Fe) (este factor dependerá de la estrategia que se aplique). Estos datos se obtendrán del lugar y espacio donde se pretenda realizar las estrategias de gestión pluvial, como IG, SUDS o SbN.

De este se derivan tres fórmulas:

$$\begin{aligned}\text{VOLUMEN DE SUMINISTRO} &= Pma \times Ac \times Ce \\ \text{VOLUMEN CAPTURADO} &= \text{Volumen de suministro} \times Fe \\ \text{BENEFICIO VOLUMÉTRICO DEL AGUA} &= \\ &\text{Volumen capturado (con proyecto)} - \text{Volumen capturado (sin proyecto)}.\end{aligned}$$

En conclusión, sobre este método, es muy intuitivo y aplicable para estrategias de infraestructura verde en contextos urbanos, sin embargo; es importante definir los factores de escorrentía dependiendo de las estrategias de gestión pluvial que se utilizaran.

Contabilidad Volumétrica de Beneficios del Agua 2.0, (VWBA 2.0)

La Contabilidad Volumétrica de Beneficios del Agua 2.0 (VWBA 2.0), desarrollada por el WRI junto con LimnoTech, Bonneville Environmental Foundation y BlueRisk, actualiza el enfoque del 2019 y se publica en septiembre el 2025. Este define los beneficios volumétricos como el volumen de agua generado por actividades de gestión hídrica que modifican la hidrología de manera favorable y contribuyen a reducir desafíos compartidos [25]. La metodología se estructura en seis pasos generales: (1) comprender el contexto local de la cuenca, (2) identificar y evaluar actividades potenciales del proyecto, (3) cuantificar los beneficios volumétricos del agua; (4) planificar y acordar responsabilidades, costos y mecanismos de monitoreo; (5) implementar y dar seguimiento; y (6) confirmar y comunicar los beneficios obtenidos. Que, para los fines de este artículo, el análisis se concentrará en el Paso 3: cuantificar los beneficios volumétricos del agua.

Paso 3.0 Cuantificar los beneficios volumétricos del agua: Este apartado concentra el contenido técnico del método, el punto donde se definen las variables, indicadores, métodos de cálculo y se desarrolla a través de cuatro sub-pasos.

Paso 3.1 Definir el objetivo volumétrico principal de la actividad seleccionada: Precisar la forma en que la intervención contribuye a modificar la hidrología de manera beneficiosa; aunque una actividad puede tener múltiples propósitos, la metodología establece la necesidad de seleccionar un objetivo principal para garantizar una adecuada elección del indicador y del método de cálculo. Si bien el método contempla objetivos diversos, en este estudio se priorizan aquellos vinculados directamente con la regulación de inundaciones urbanas.



Paso 3.2 Seleccionar el indicador de beneficio volumétrico del agua (VWB): Este debe reflejar de manera directa el cambio hidrológico generado por la intervención; para el análisis desarrollado en este artículo, se prioriza el **indicador de volumen capturado**, (tabla 4) por su relación directa con la regulación de escurrimientos pluviales y la reducción del riesgo de inundaciones.

Paso 3.3 Selección del método de cálculo: Se elige en función del objetivo y del indicador definido; la metodología contempla distintos métodos, entre ellos el cálculo del volumen captado, la reducción de escorrentía y la recarga, los cuales permiten cuantificar los beneficios volumétricos del agua de forma consistente y replicable.

Paso 3.4 Recopilación de los datos necesarios y cálculo de los beneficios volumétricos del agua: Mediante la comparación incremental de dos escenarios: con proyecto y sin proyecto; este análisis debe considerar las variaciones estacionales y asegurar que los volúmenes no sean contabilizados más de una vez. La metodología recomienda, cuando sea necesario, el apoyo de especialistas para la correcta selección de indicadores y métodos de VWB.

Con base en este procedimiento, en la tabla 4. se describe la actividad de gestión hídrica, el objetivo volumétrico, el indicador seleccionado y el método de cálculo correspondiente, que para efectos del análisis, se priorizó la infraestructura verde o gris orientada a la captación de escorrentía, así como el objetivo relacionado a la mitigación de inundaciones, que selecciona la variable de volumen capturado, al ser el indicador más directamente asociado a la regulación de inundaciones urbanas, dando como resultado el método de volumen capturado.

Tabla 5. Método de cálculo recomendado según objetivo e indicador VWB

¿Qué actividad de beneficio directo le interesa realizar?	Objetivo volumétrico	Indicador VWB	Método VWB
Infraestructura verde o gris Intervenciones diseñadas para captar la escorrentía (jardines de lluvia, biofiltros, estanques de retención de aguas pluviales, gestión del agua de drenaje, etc.)	Mejora de la resiliencia mediante la mitigación de inundaciones y sequías.	Volumen capturado	Método de volumen capturado

Fuente: Guía VWBA 2.0.

Método de Volumen Capturado

Este método puede utilizarse para estimar los beneficios volumétricos de actividades que capturan y/o almacenan o protegen un volumen de agua con fines de mitigación de inundaciones o sequías, mejora de la calidad del agua y/o beneficios para el hábitat, el indicador de este método es el de volumen captado, y puede aplicarse para calcular el **volumen capturado o mantenido** gracias a la gestión de las aguas pluviales.

Los VMB para actividades que captan y/o almacenan un volumen de agua se calculan con la siguiente ecuación.

$$\text{BENEFICIOS VOLUMÉTRICOS DE AGUA (VMB)} = \text{Volumen capturado (con proyecto)} - \text{Volumen capturado (sin proyecto)}.$$



Los VMB para actividades que protegen o mantiene un volumen de agua se calculan con la siguiente ecuación.

$$\text{BENEFICIOS VOLUMÉTRICOS DE AGUA (VMB)} = \text{Volumen mantenido (con proyecto)} - \text{Volumen mantenido (sin proyecto)}.$$

Estas estrategias de gestión pluvial se utilizan para interceptar y disminuir la escorrentía que ayuda a reducir el riesgo de inundaciones; como son cubiertas verdes, pavimentos permeables, zanjas húmedas, jardines de lluvia, humedales artificiales, entre otros.

Las variables que establece este método son: tipo de estrategia, precipitación media anual (Pma), área de captación total (Ac), coeficiente de escorrentía (Ce) (existen coeficientes ya definidos correspondientes a la cobertura del suelo), superficie total de drenaje de la estrategia (Sd) y el factor de reducción de escorrentía (Fe) (este factor dependerá de la estrategia que se aplique). Estos datos se obtendrán del lugar y espacio donde se pretendan realizar las estrategias de gestión pluvial.

De este se derivan tres fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{VOLUMEN DE SUMINISTRO} &= Pma \times Ac \times Ce \\ \text{VOLUMEN CAPTURADO} &= \text{Volumen de suministro} \times Fe \\ \text{BENEFICIO VOLUMÉTRICO DEL AGUA} &= \\ &\text{Volumen capturado (con proyecto)} - \text{Volumen capturado (sin proyecto)}. \end{aligned}$$

En conclusión y como se mencionó en la explicación de la guía es una actualización, siendo más precisa y amplia, es aplicable para estrategias de infraestructura verde en contextos urbanos; sin embargo, aún no se definen los factores de reducción de escorrentía lo cual se considera importante para poder aplicar la fórmula. Si bien se tienen los ejemplos de estrategias; no existe un factor establecido para la aplicación de cada una.

Contabilidad de los beneficios de la calidad del agua (WQBA)

La Contabilidad de los Beneficios de la Calidad del Agua (WQBA), desarrollada por WRI junto con LimnoTech y The Nature Conservancy y publicada en septiembre del 2025, constituye el primer marco estandarizado para cuantificar los beneficios derivados de mejoras en la calidad del agua. Surge como una extensión especializada de la VWBA 2.0, orientada a evaluar reducciones de contaminantes y mejoras en la salud de las cuencas mediante resultados hidrológicos y fisicoquímicos medibles [27].

Su objetivo es proporcionar un marco robusto y replicable para definir objetivos, indicadores y métodos de cálculo aplicables a contextos urbanos, agrícolas y ecosistemas restaurados, permitiendo cuantificar reducciones de sedimentos, nutrientes, bacterias, metales y variaciones térmicas. Se organiza en seis pasos generales: (1) comprender el contexto local de la cuenca, (2) identificar y evaluar las actividades del proyecto; (3) cuantificar los beneficios de calidad del agua (WQB); (4) planificar y acordar responsabilidades; (5) implementar el proyecto y dar seguimiento a su desempeño; y (6) confirmar y comunicar los beneficios de calidad del agua obtenidos. Pero para los fines de este artículo, el análisis se concentra en el tercer paso, cuantificar los beneficios de calidad del agua; debido a que este paso se



establecen los objetivos, variables e indicadores que permiten evaluar los beneficios de calidad del agua asociados a intervenciones de gestión hídrica e infraestructura verde.

Paso 3.0 Cuantificar los beneficios de calidad del agua: Constituye el núcleo técnico de la metodología, se enfoca en cuantificar los beneficios de calidad del agua generados por las actividades del proyecto y se desarrolla mediante cuatro subetapas.

Paso 3.1 Identificar el objetivo de calidad del agua: Define el aspecto principal a mejorar, como la reducción de nutrientes, el control de sedimentos, la mejora de la calidad del agua potable y aunque una intervención puede generar múltiples beneficios, la metodología establece la necesidad de seleccionar un objetivo principal que guíe el análisis.

Paso 3.2 Seleccionar el indicador WQB en función del objetivo y del contaminante relevante: Los indicadores contemplados incluyen la reducción de carga contaminante, la concentración de contaminantes y la disminución de la temperatura media o máxima del agua, que a diferencia del enfoque volumétrico de la VWBA 2.0, el WQBA requiere un mayor nivel de especificidad y disponibilidad de datos, dado que se centra en procesos de calidad del agua más que en volúmenes gestionados.

Paso 3.3 Selección del método de cálculo: Se elige considerando el objetivo, el indicador y el contaminante. La guía propone diversos métodos predefinidos, incluso el WQBA permite la incorporación de métodos adicionales siempre que estén debidamente justificados y fundamentados científicamente.

Paso 3.4 Recopilación de datos y el cálculo de los beneficios de calidad del agua: Se realiza mediante la comparación de escenarios con proyecto y sin proyecto. Este análisis debe considerar la disponibilidad y relevancia de los datos, así como las variaciones estacionales, con el fin de asegurar que los resultados representen mejoras reales en la calidad del agua. La metodología recomienda, el apoyo de especialistas para garantizar la correcta selección de indicadores y métodos.

Un aporte distintivo del WQBA es la clasificación de actividades de gestión hídrica por categorías, especialmente en contextos urbanos, donde el método se centra en la calidad del agua y en la reducción de cargas contaminantes. Por ello, sus cálculos se orientan a indicadores de carga reducida o evitada. Aunque este enfoque excede los objetivos principales de este artículo, se analiza para efectos comparativos.

En la Tabla 5 se presenta la categoría urbana con sus actividades, indicadores y métodos. Dado que el WQBA prioriza la depuración y reducción de contaminantes, sus variables reflejan mejoras indirectas en el desempeño hidrológico y la mitigación de impactos urbanos. Para este estudio, se selecciona el método simple por ser el más adecuado al objeto de análisis.

Tabla 6. Método de cálculo recomendado según contaminantes e indicadores WQB. Fuente: Guía WQBA.

Categoría y actividad	Indicadores aplicables	Métodos aplicables
Urbana Sistemas de captación o tratamiento de aguas pluviales con/sin entradas y salidas bien definidas.	Carga reducida, reducción de la concentración y temperatura media o máxima.	D1. Eficiencia de reducción de contaminantes D2. Método simple D4. Sistema de tratamiento D5. Monitoreo de la calidad del agua D6. Método de modelado D7. Métodos específicos de la región



Método Simple

Este método es un enfoque para estimar la carga contaminante multiplicando los volúmenes de escorrentía anual por las concentraciones de contaminantes específicas del uso del suelo, se utiliza mas para escorrentía de aguas pluviales en zonas urbanas; sin embargo, se puede aplicar de manera general a una variedad de usos de suelo. Asimismo, este método resulta más adecuado para actividades que implican un cambio en la cobertura del suelo como: natural a impermeable, lo cual prevé que se genere más escorrentía y mayor carga contaminante; los indicadores que corresponden a este método son **reducción de la carga contaminante o carga contaminante evitada**.

Las variables de este método son **L=carga contaminante**;

Factores de conversión:

*Para C expresado en mg/L y L en libras/año, utilice 2.2266×10^{-1}

*Para C expresado en ug/L y L en libras/año, utilice 2.2266×10^{-4}

*Para C expresado en colonias/100 ml (p. ej, bacterias) y L en colonias/año, utilice 1.0282×10^6

* Se necesitan factores de conversión alternativos si se utilizan unidades de entradas y/o salidas diferentes.

C=concentración media del evento (EMC), A=superficie de captación que se está evaluando (acres), P=profundidad media anual de precipitación (pulgadas), Pj=fracción de eventos de precipitación que producen escorrentía (a menudo se supone 0.9), Rv-compuesto = coeficiente de escorrentía volumétrica compuesto, Rvl=coeficiente de escorrentía para cubiertas impermeables, Rvmt=coeficiente de escorrentía para céspedes gestionados (jardines, derechos de paso de carreteras, etc.), Rvmo=coeficiente de escorrentía para espacios abiertos mixtos (prados, pastizales), Rvf=coeficiente de escorrentía para bosques/espacios abiertos, %I=porcentaje del área contribuyente que es cubierta impermeable, %MT=porcentaje del área contribuyente que es césped gestionado, %MO=porcentaje del área contribuyente que es espacio abierto mixto, %F=porcentaje de la superficie contribuyente que es bosque. Con la siguiente ecuación y datos de entrada anteriores se calcula la carga contaminante.

$$L = \text{factores de conversión} * C * A * P * P_j * R_{v\text{-compuesto}}$$

$$R_{v\text{compuesto}} = (R_{vl} * \%I) + (R_{vmt} * \%MT) + (R_{vmo} * \%MO) + (R_{vt} * \%F)$$

Este método a diferencia de los dos anteriores es mas técnico y enfocado en el cálculo de contaminantes; que, como se observa, realiza estimaciones en el cálculo del volumen de agua, pero esta parte queda en segundo plano al enfocarse en la carga contaminante y que al enfocarse en el contexto urbano señala la importancia de cuantificar y depurar del recurso hídrico estos contaminantes.

4. Resultados y discusiones

Previo a la selección de las metodologías analizadas, se revisaron nueve enfoques de contabilidad hídrica y se descartaron seis mediante un proceso de evaluación basado en criterios comparativos respecto al



objeto de estudio, centrado en la cuantificación de beneficios hídricos en términos volumétricos en contextos urbanos, particularmente asociados a estrategias de captación pluvial e infraestructura verde. La mayoría de los enfoques excluidos presentaban limitaciones relacionadas con su escala de análisis, su orientación hacia la eficiencia del agua en sistemas agrícolas, su carácter conceptual o normativo sin una estructura metodológica diseñada para evaluar beneficios específicos. Bajo estos criterios, se seleccionaron tres metodologías con reconocimiento internacional: la VWBA (2019) y sus desarrollos posteriores, VWBA 2.0 (2025) y WQBA (2025), elaboradas por WRI en colaboración con diversas organizaciones técnicas.

El análisis comparativo de estas metodologías permite identificar convergencias conceptuales y diferencias operativas relevantes para su aplicación en infraestructura verde urbana. La VWBA y la VWBA 2.0 mantienen una relación evolutiva directa: ambas comparten una lógica centrada en cuantificar beneficios hídricos en términos volumétricos mediante la identificación de un desafío, la definición de una intervención y la comparación entre escenarios con y sin proyecto. Esta estructura común las posiciona como herramientas complementarias orientadas a generar métricas comparables para la toma de decisiones en la gestión del agua.

Sin embargo, la VWBA 2.0 introduce mejoras sustanciales respecto a la versión de 2019, especialmente en claridad conceptual, estructura metodológica y aplicabilidad. Mientras la VWBA se organiza en tres etapas generales, la versión 2.0 amplía el proceso a seis pasos que incorporan planificación, monitoreo y validación. Además, integra criterios como adicionalidad, atribución y no doble contabilización, fortaleciendo la consistencia y credibilidad de los resultados. A pesar de estos avances, ambas metodologías comparten limitaciones asociadas a la dependencia de supuestos y a la falta de parámetros estandarizados para factores clave, como el factor de reducción de escorrentía, lo que introduce incertidumbre y dificulta la comparabilidad entre estudios.

Por su parte, la metodología WQBA representa un enfoque distinto pero complementario, al incorporar explícitamente la dimensión de calidad del agua. A diferencia de los métodos volumétricos, el WQBA utiliza variables fisicoquímicas y parámetros de carga contaminante para evaluar reducciones de sedimentos, nutrientes, bacterias, metales y variaciones térmicas. Este cambio amplía el alcance de la contabilidad hídrica hacia evaluaciones más integrales, pero también incrementa la complejidad técnica y la demanda de información, lo que puede limitar su aplicabilidad en contextos urbanos con datos restringidos o cuando el objetivo del estudio no se centra en la calidad del agua.

Un aporte distintivo del WQBA es la clasificación de actividades de gestión hídrica por categorías, particularmente en el contexto urbano, donde los métodos de cálculo se orientan a indicadores de reducción o evitación de cargas contaminantes. Aunque este enfoque excede los objetivos principales de este estudio, se incorpora para efectos comparativos, destacando su potencial para evaluar beneficios indirectos como la mitigación y/o reducción de contaminantes en la gestión de recursos hídricos.

La matriz comparativa elaborada mediante la adaptación del método PRISMA permitió desglosar sistemáticamente los componentes de cada metodología y establecer criterios homogéneos de comparación. Los resultados muestran que, mientras la VWBA y la VWBA 2.0 comparten una base conceptual sólida centrada en la cuantificación volumétrica, la versión 2.0 presenta un mayor nivel de rigurosidad y detalle. En contraste, el WQBA introduce una lógica orientada a la calidad del agua, con



variables más complejas y métodos específicos según el tipo de contaminante, lo que confirma su carácter especializado y complementario.

En conjunto, el análisis evidencia que la selección metodológica debe responder directamente al objetivo del estudio y al tipo de información disponible. La Tabla 6 sintetiza estos elementos, mostrando que, aunque las metodologías comparten una estructura basada en procesos secuenciales, difieren en enfoque, nivel de detalle y tipo de variables empleadas, lo que orienta su aplicación en distintos escenarios de gestión hídrica urbana.

El análisis muestra que las metodologías no compiten entre sí, sino que responden a distintos niveles de profundidad. La VWBA y la VWBA 2.0 resultan más accesibles y operativas para estimar beneficios volumétricos en etapas de planeación y diseño, mientras que el WQBA se orienta a evaluaciones especializadas centradas en la calidad del agua y en procesos de monitoreo más detallados. En el contexto de esta investigación, enfocada en cuantificar beneficios hídricos asociados a la captación pluvial mediante infraestructura verde, el uso del WQBA es limitado, pues el objetivo no es evaluar carga contaminante, sino estimar volúmenes captados y su contribución a la regulación de escorrentías urbanas. Por ello, se priorizan las metodologías VWBA y VWBA 2.0, cuya combinación permite aprovechar la simplicidad operativa de la primera y el mayor rigor metodológico de la segunda, garantizando consistencia, trazabilidad y replicabilidad en los resultados.

Asimismo, el análisis comparativo permitió identificar que las variables esenciales y recurrentes en las metodologías VWBA y VWBA 2.0 son la precipitación media anual (Pma), el área de captación (Ac), el coeficiente de escorrentía (Ce) y el volumen capturado, ya que constituyen la base para la estimación de beneficios volumétricos. Ambas metodologías incorporan variables complementarias como la superficie de drenaje, la línea base, tipo de intervención y el factor de reducción de escorrentía. En contraste, la metodología WQBA introduce variables específicas relacionadas con la calidad del agua, tales como la concentración de contaminantes (C), la carga contaminante (L) y coeficientes asociados al uso del suelo, ampliando el análisis hacia procesos fisicoquímicos más complejos.

Las diferencias entre metodologías influyen directamente en su aplicabilidad. Mientras que VWBA y VWBA 2.0 resultan más adecuadas para proyectos de infraestructura verde enfocados en captación pluvial, infiltración y regulación de escorrentías, la WQBA requiere información especializada sobre calidad del agua y monitoreo de contaminantes, por lo que su aplicación resulta más pertinente en proyectos orientados a la depuración, restauración de cuerpos de agua o control de contaminación.



Tabla 7. Análisis comparativo de metodologías por el método PRISMA adaptado. Fuente. Elaboración propia.

Ítem PRISMA	VWBA	VWBA 2.0	WQBA
Razón fundamental (3)	Cuantifica beneficios hídricos de acciones de gestión del agua ante la falta de métricas comparables.	Evoluciona VWBA 2019 para mejorar consistencia, credibilidad y aplicabilidad ante mayor complejidad de los desafíos hídricos.	Surge para complementar VWBA incorporando la dimensión de calidad del agua, no se basa metodologías volumétricas.
Objetivos (4)	Cuantificar beneficios hídricos en términos volumétricos (m ³).	Cuantificar, evaluar y comunicar beneficios volumétricos de forma estandarizada y creíble.	Cuantificar, evaluar y reportar beneficios relacionados con la calidad del agua en proyectos de gestión.
Criterios de elegibilidad (5)	Enfocados en actividades que generen beneficios hídricos medibles.	Define criterios claros: relevancia, adicionalidad, atribución, cuantificación, consistencia y no doble conteo.	Establece criterios para proyectos que generen beneficios en calidad del agua y que puedan ser medibles y atribuibles.
Resultados / variables principales (10a) Otras variables (10b)	Beneficios hídricos volumétricos (volumen capturado con y sin proyecto). Línea base, tipo de estrategia, contexto hídrico, precipitación media anual (Pma), área de captación total (Ac), coeficiente de escorrentía (Ce), superficie total de drenaje (Sd), factor de reducción de escorrentía (Fe) e indicadores complementarios y supuestos.	Beneficios volumétricos (VWBs) con mayor precisión metodológica. Contexto de cuenca, tipo de estrategia, precipitación media anual (Pma), área de captación total (Ac), coeficiente de escorrentía (Ce), superficie total de drenaje (Sd) y el factor de reducción de escorrentía (Fe), indicadores complementarios y supuestos.	Beneficios de calidad del agua (reducción de contaminantes, mejora de parámetros), variables hidrológicas y fisicoquímicas. Parámetros de calidad, contaminantes, condiciones del sistema, contexto hidrológico. L, C, A, P, Pj, Rv-compuesto, Rvl, Rvmt, Rvmo, Rvf, %l, %MT, %MO y %F y Rvcompuesto.
Medidas de efecto (12)	Volumen de agua (m ³).	Volumen de agua (m ³) capturado o mantenido con mayor estandarización.	Indicadores de calidad del agua (no de volumen).
Preparación de datos (13b)	Uso de línea base y factores de ajuste; posibles supuestos.	Uso de línea base, entradas documentadas y estandarización.	Uso de parámetros técnicos de calidad y métodos específicos según contaminante.
Presentación de resultados (13c)	Resultados en m ³ comparados con la línea base (con y sin intervención)	Resultados en m ³ integrados en proceso de 6 pasos y reportes estructurados.	Resultados en indicadores de calidad del agua y su mejora cuantificada.
Síntesis metodológica (13d / 20a)	Enfoque basado en cálculo volumétrico.	Proceso estructurado de 6 pasos tomando el 3ero como referencia.	Enfoque metodológico estructurado de 6 pasos tomando el 3ero como referencia y orientado a la evaluación de calidad del agua.
Interpretación (23a)	Introduce métodos para comparar beneficios hídricos, aplica el método de captura de volumen.	Mejora la credibilidad, consistencia y toma de decisiones en gestión del agua, aplica el método de volumen capturado.	Amplía el análisis al incorporar la calidad del agua como dimensión crítica, aplica el método simple.
Limitaciones (23b)	Dependencia de datos y supuestos; incertidumbre en resultados, por falta de factor de reducción de escorrentía.	Representa salidas en m ³ , no garantiza impactos reales por que está limitado a la cantidad en volumen de las intervenciones y la falta del factor de reducción de escorrentía.	Complejidad en medición; requiere datos técnicos más específicos.
Implicaciones (23d)	Facilita evaluación de proyectos y gestión basada en volumen.	Mejora decisiones, alineación con ODS 6 y comparabilidad global.	Permite evaluaciones más integrales al incorporar calidad del agua.



Métodos específicos

El análisis de los métodos de cálculo empleados en las metodologías permite profundizar en su lógica operativa y en las variables involucradas. En el caso de la VWBA, el **método de captura de volumen** se basa en una estructura directa que estima el volumen de agua a partir de la precipitación media anual, el área de captación y el coeficiente de escorrentía, incorporando posteriormente un factor de reducción de escorrentía para determinar el volumen efectivamente capturado. El beneficio volumétrico se obtiene mediante la comparación entre escenarios con y sin intervención.

La VWBA 2.0 retoma esta lógica a través del **método de volumen capturado**, integrándolo dentro de un proceso metodológico más estructurado. Si bien mantiene las mismas variables fundamentales, su aplicación responde a una secuencia más clara de definición de objetivos, selección de indicadores y validación de resultados, lo que mejora su consistencia sin modificar sustancialmente su base de cálculo. En contraste, el método simple del WQBA introduce una lógica distinta centrada en la estimación de la carga contaminante, a partir de la relación entre volumen de escorrentía y concentración de contaminantes. Este enfoque incorpora variables adicionales como concentraciones medias, coeficientes diferenciados y porcentajes de uso de suelo, lo que incrementa su complejidad y lo orienta hacia la evaluación de la calidad del agua.

A partir de este análisis, se confirma la alta compatibilidad entre los métodos de VWBA y VWBA 2.0, lo que permite consolidar un conjunto base de variables para la cuantificación volumétrica: precipitación media anual, área de captación, coeficiente de escorrentía y volumen capturado.

No obstante, se identifica una limitante crítica compartida: la falta de criterios estandarizados para la determinación del factor de reducción de escorrentía. Este parámetro resulta fundamental, ya que define la proporción de agua efectivamente capturada o infiltrada, pero su valor depende de la tipología de la infraestructura verde y de las condiciones específicas del sitio. Esta ausencia introduce incertidumbre y limita la precisión y comparabilidad de los resultados.

En este sentido, el factor de reducción de escorrentía se posiciona como una variable clave que requiere mayor desarrollo, abriendo una línea de investigación futura orientada a la definición de rangos y coeficientes específicos para distintas tipologías de infraestructura verde.

Propuesta metodológica

Derivado de lo anterior, se propone una base metodológica para el cálculo de beneficios volumétricos en proyectos urbanos de infraestructura verde (figura 2), la cual integra los principios de los métodos de captura de volumen y volumen capturado. Este proceso parte de la caracterización del sitio y la estimación del volumen sin proyecto, seguido de la selección de la estrategia, la recopilación de variables y el cálculo del volumen de suministro, para finalmente determinar el volumen capturado y el beneficio volumétrico. Complementariamente, la figura 3 presenta la sistematización de variables que sustenta esta propuesta, integrando elementos clave como la precipitación media anual, el área de captación, el coeficiente de escorrentía, la superficie de drenaje y el factor de reducción de escorrentía.

Cabe señalar que esta base metodológica constituye una propuesta teórica que aún no ha sido validada y/o comprobada empíricamente, por lo que su aplicación requiere ser probada en estudios de caso reales. No



obstante, representa un avance hacia la construcción de herramientas más estructuradas, replicables y adaptadas a la evaluación de beneficios hídricos en infraestructura verde urbana.

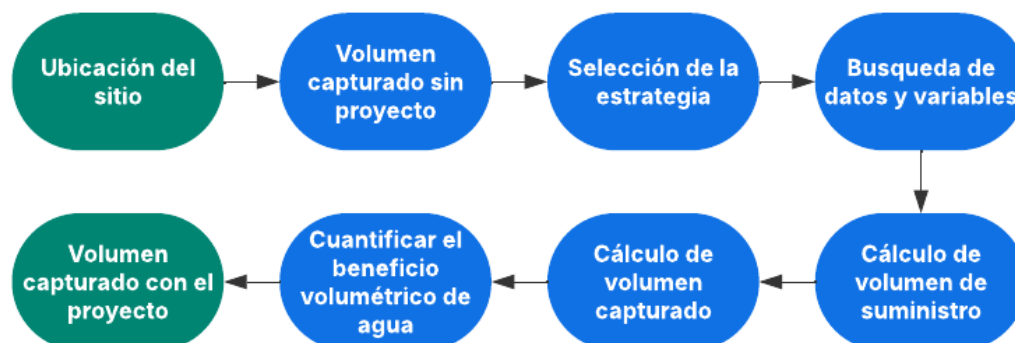


Figura 2. Base metodológica para cálculo de volumen en proyectos urbanos de infraestructura verde *Fuente: Elaboración propia.*

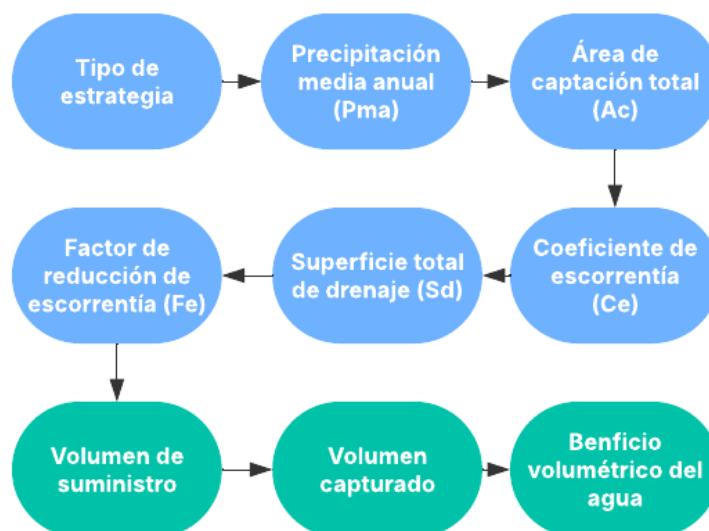


Figura 3. Sistematización de variables para base metodológica. *Fuente: Elaboración propia.*

5. Conclusiones

El análisis comparativo de las metodologías de contabilidad hídrica VWBA (2019), VWBA 2.0 (2025) y WQBA (2025) permitió identificar que, aunque todas buscan cuantificar los beneficios de intervenciones en la gestión del agua, difieren en su enfoque, nivel de complejidad y aplicabilidad en contextos urbanos. Se concluye que VWBA y VWBA 2.0 presentan una alta compatibilidad conceptual y operativa, lo que permite su integración como base metodológica para la cuantificación de beneficios hídricos en términos volumétricos. La VWBA 2.0 representa una evolución del modelo original al incorporar una estructura más robusta, criterios más claros y un proceso metodológico que mejora la trazabilidad y consistencia de los resultados. No obstante, ambas mantienen una lógica común basada en la comparación de escenarios con y sin intervención, facilitando su articulación dentro de un mismo marco de análisis.



Por su parte, la metodología WQBA introduce una dimensión complementaria centrada en la calidad del agua, integrando variables fisicoquímicas y parámetros asociados a la reducción de contaminantes. Si bien este enfoque amplía el alcance de la contabilidad hídrica, su mayor complejidad técnica y requerimientos de información limitan su aplicación en estudios enfocados exclusivamente en la cuantificación volumétrica. En este sentido, se posiciona como una herramienta especializada y complementaria, más que sustitutiva.

El análisis de los métodos de cálculo permitió identificar una base común en VWBA y VWBA 2.0, sustentada en variables hidrológicas fundamentales como la precipitación media anual, el área de captación, el coeficiente de escorrentía y el volumen capturado. Esta coincidencia posibilitó la sistematización de variables y la construcción de una base metodológica aplicable a proyectos urbanos de infraestructura verde.

Sin embargo, uno de los hallazgos más relevantes es la ausencia de criterios estandarizados para la determinación del factor de reducción de escorrentía. Este parámetro, clave en la estimación del volumen efectivamente captado, depende del tipo de infraestructura verde y de las condiciones del sitio, lo que introduce incertidumbre y limita la precisión y comparabilidad de los resultados.

En este contexto, la propuesta metodológica desarrollada en esta investigación representa un avance en la estructuración de herramientas para la evaluación de beneficios hídricos en infraestructura verde urbana. No obstante, también evidencia la necesidad de profundizar en la definición de variables críticas, particularmente el factor de reducción de escorrentía, como una línea de investigación futura orientada a mejorar la precisión, replicabilidad y aplicabilidad de los modelos.

Desde una perspectiva de gestión urbana, la sistematización de variables propuesta puede contribuir al diseño de criterios técnicos para la evaluación de proyectos de infraestructura verde dentro de instrumentos de planeación territorial, programas de adaptación al cambio climático y estrategias de gestión pluvial urbana. Asimismo, proporciona una base conceptual que puede apoyar la formulación de políticas públicas orientadas a promover soluciones basadas en la naturaleza y sistemas urbanos de drenaje sostenible mediante indicadores comparables y verificables.

Como línea futura de investigación, se recomienda desarrollar estudios empíricos orientados a validar la propuesta metodológica en casos reales de infraestructura verde urbana, así como establecer coeficientes y factores de reducción de escorrentía específicos para distintas tipologías de intervención, tales como jardines de lluvia, pavimentos permeables, zanjas de infiltración y humedales artificiales.

Finalmente, esta investigación aporta una base conceptual y metodológica que facilita la aplicación de la contabilidad volumétrica del agua en contextos urbanos, contribuyendo a evaluaciones más sistemáticas y orientadas a la toma de decisiones, y sentando bases para el desarrollo de enfoques más integrales que articulen cantidad y calidad del agua en la gestión de infraestructura verde.

6. Agradecimientos

Se extiende un agradecimiento al Tecnológico Nacional de México, a través del Instituto Tecnológico de Colima, en particular a la División de Estudios de Posgrado e Investigación y al programa de Maestría en



Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana, por el respaldo académico, institucional y formativo brindado durante el desarrollo de esta investigación.

De manera especial, se reconoce y agradece la orientación, acompañamiento y aportaciones académicas de los profesores del programa, particularmente al Dr. En Arq. Jorge Armando Gutiérrez-Valencia, al Dr. En Arq. Francisco José Martín del Campo Saray, a la Dra. María Silvia del Rocío Covarrubias Ruesga y al M. Arq. Ignacio Barajas-Ávalos, por su valiosa guía, retroalimentación crítica y compromiso con la formación académica, los cuales fueron fundamentales para la consolidación de este trabajo.

7. Reconocimiento de autoría

Ericka Michell Ochoa Nuño: Conceptualización; Ideas; Metodología; Análisis formal; Investigación; Análisis de datos; Escritura; Borrador original; Visualización y Edición. *Jorge Armando Gutiérrez-Valencia*: Metodología; Análisis formal; Supervisión y Revisión. *Francisco José Martín del Campo Saray*: Metodología; Análisis formal; Supervisión y Revisión. *María Silvia del Rocío Covarrubias Ruesga*: Análisis formal; Supervisión y Revisión. *Ignacio Barajas-Ávalos*: Análisis formal; Supervisión y Revisión.

Referencias

- [1] P. Babuna, X. Yang, R. X. Supe Tulcan, B. Dehui, M. Takase, B. Y. Guba, C. Han, D. A. Awudi and M. Li, “Modeling water inequality and water security: The role of water governance,” *Journal of Environmental Management*, vol. 326, p. 116815, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116815>
- [2] M. Saldaña Almazán, A. P. Leyva Zuñiga, E. Moreno Mendoza, M. P. Calderón Arellanes and S. Suastegui Cruz, “Community Management and Sustainability of Water Supply in a Rural Area of Guerrero, Mexico,” *Sustainability*, vol. 17, no. 10, p. 4633, 2025. doi: <https://doi.org/10.3390/su17104633>
- [3] C. Lei, C. Guo, Y. Yu, X. Zhou, Y. Fu, S. Wang, Y. Ma and Z. Shen, “Optimization of green infrastructures for sustaining urban stormwater quality and quantity: An integrated resilience evaluation,” *Journal of Hydrology*, vol. 640, p. 131682, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131682>
- [4] J. Hack, L. Ojeda-Revah, M. P. Rubí, G. Pradilla, M. Borbor-Cordova, G. Burgueño, A. A. Eleuterio, D. Rivera and A. Vásquez, “Avances de infraestructura verde urbana para la gestión de agua en América Latina,” *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, vol. 33, no. 1, pp. 139–160, 2024. doi: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v33n1.101947>
- [5] N. Liu and F. Zhang, “Urban green spaces and flood disaster management: Toward sustainable urban design,” *Frontiers in Public Health*, 2025. doi: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1583978>
- [6] J.-Y. Lee, “A Review of Urban Flooding: Causes, Impacts, and Mitigation Strategies,” *The Journal of Engineering Geology*, vol. 33, no. 3, pp. 489–502, 2023. doi: <https://doi.org/10.9720/kseg.2023.3.489>
- [7] Comisión Nacional del Agua, “Estadísticas del agua en México 2023,” 2023. [En línea]. Disponible: https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/Descargas/pdf/EAM2023_f.pdf
- [8] Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, “Ley de Aguas Nacionales,” 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>
- [9] Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, “Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos,” 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- [10] Comisión Nacional de los Derechos Humanos, “El derecho humano al agua potable y saneamiento,” 2014. [En línea]. Disponible: <https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-08/derecho-humano-agua-ps.pdf>
- [11] Naciones Unidas, “Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023,” 2023. [En línea]. Disponible: https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf
- [12] M. Khodadad, I. Aguilar-Barajas and A. Khan, “Green infrastructure for urban flood resilience: A review of recent literature on bibliometrics, methodologies, and typologies,” *Water*, vol. 15, no. 3, p. 523, 2023. doi: <https://doi.org/10.3390/w15030523>
- [13] M. Zarei and S. Shahab, “Nature-Based Solutions in Urban Green Infrastructure: A Systematic Review of Success Factors and Implementation Challenges,” *Land*, vol. 14, no. 4, p. 818, 2025. doi: <https://doi.org/10.3390/land14040818>



- [14] S. Apostolaki, "Nature-based solutions: From flood defense to addressing water scarcity and climate change risks," *Nature-Based Solutions*, vol. 7, p. 100233, 2025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2025.100233>
- [15] J. I. Guano Merino and F. R. Morales Fiallos, "Análisis del impacto de infraestructura verde: modelos hidrológicos y soluciones arquitectónicas sostenibles," *Revista Multidisciplinar de Estudios Generales*, vol. 4, no. 2, 2025. doi: <https://doi.org/10.70577/reg.v4i2.124>
- [16] M. Mul, P. Karimi, H. M. Coerver, S. Pareeth and L. M. Rebelo, "Water productivity and water accounting methodology manual." IHE Delft Institute for Water Education & International Water Management Institute, 2020. [En línea]. Disponible: https://www.wateraccounting.org/files/projects/adb/phase2/IHE_IWMI_WP_WA_Methodology_Manual.pdf
- [17] Asamblea General de las Naciones Unidas, "Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible," 2015. [En línea]. Disponible: https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf
- [18] Naciones Unidas, "Informe del Secretario General sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2025," 2025. [En línea]. Disponible: <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2025/secretary-general-sdg-report-2025--ES.pdf>
- [19] M. J. Page, J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T. C. Hoffmann, C. D. Mulrow, L. Shamseer, J. M. Tetzlaff, E. A. Akl, S. E. Brennan, R. Chou, J. Glanville, J. M. Grimshaw, A. Hróbjartsson, M. M. Lalu, T. Li, E. W. Loder, E. Mayo-Wilson, S. McDonald and D. Moher, "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, vol. 372, p. n71, 2021. doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- [20] S. Arias Orozco and D. C. Ávila Ramírez, "Gestión hídrica en las acciones urbanísticas en México," *Estudios y Perspectivas. Revista Científica y Académica*, vol. 4, no. 3, 2024. doi: <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v4i3.667>
- [21] E. Ríos-Badilla, P. Boj-Coti and C. Alfaro Chinchilla, "Evaluación de la huella de agua y la gestión del recurso hídrico en las industrias," *Biocenosis*, vol. 33, no. 1, pp. 57–71, 2022. doi: <https://doi.org/10.22458/rb.v33i1.4287>
- [22] B. Duarte-Abadía, L. Galarza Suárez and J. Hidalgo-Bastidas, "¿Seguridad hídrica urbano-rural en los fondos de agua?," *Journal of Political Ecology*, vol. 30, no. 1, pp. 391–400, 2023. doi: <https://doi.org/10.2458/jpe.5295>
- [23] E. Giannotti, A. Vásquez, E. Galdámez, P. Velásquez and C. Devoto, "Planificación de infraestructura verde para la emergencia climática," *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, vol. 30, no. 2, pp. 359–375, 2021. doi: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v30n2.88749>
- [24] J. Santiago Ramos and C. Hurtado Rodríguez, "Análisis de servicios ecosistémicos para la configuración de una infraestructura verde," *ACE: Architecture, City and Environment*, vol. 16, no. 46, p. 9884, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.16.46.9884>
- [25] P. Reig, W. Larson, S. Vionnet and J.-B. Bayart, "Volumetric water benefit accounting (VWBA): A method for implementing and valuing water stewardship activities." World Resources Institute, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.wri.org/research/volumetric-water-benefit-accounting-vwba-method-implementing-and-valuing-water-stewardship>
- [26] N. Collins, M. Dettmann, T. Gartner, S. Walker, W. Larson, P. Moskus, P. Selvendiran, L. Weintraub, P. Reig, J. Stewart, S. Hoversten, S. McCaulou, T. Reeve and R. Warren, "Volumetric water benefit accounting 2.0: Guidance for implementing, evaluating, and claiming volumetric water benefits of water stewardship projects." World Resources Institute, 2025. doi: <https://doi.org/10.46830/wrigb.23.00112>
- [27] S. Walker, D. Schlea, S. Skripnik, L. Weintraub, N. Ofosu-Amaah and K. Vigerstol, "Water quality benefit accounting: Guidance for implementing, evaluating, and claiming water quality benefits of water stewardship projects." World Resources Institute, 2025. doi: <https://doi.org/10.46830/wrigb.23.00147>
- [28] Sustainability Directory, "Water footprint accounting," s.f. [En línea]. Disponible: <https://lifestyle.sustainability-directory.com/term/water-footprint-accounting/>
- [29] Agencia Vasca del Agua (URA), "Sistemas de control de los volúmenes de agua derivados por los aprovechamientos de agua del dominio público hidráulico en las cuencas internas del País Vasco," s.f. [En línea]. Disponible: <https://www.uragentzia.euskadi.eus/sistemas-de-control-de-los-volumenes-de-agua-derivados-por-los-aprovechamientos-de-agua-del-dominio-publico-hidraulico-en-las-cuencas-internas-del-pais-vasco/webura00-0305usos/es/>
- [30] IHE Delft Institute for Water Education, "Water Accounting+ framework," s.f. [En línea]. Disponible: <https://wateraccounting.un-ihe.org/en/wa-framework>
- [31] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Water Management Institute (IWMI) and IHE Delft Institute for Water Education, *Water Accounting+ methodology manual*, 2018. [En línea]. Disponible: https://www.wateraccounting.org/files/projects/adb/phase2/IHE_IWMI_WP_WA_Methodology_Manual.pdf
- [32] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Water productivity and water accounting methodology manual*, 2020. [En línea]. Disponible: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/77718913-2394-47a5-b8ad-3b91017612e6/content>



[33] Agrow Analytics, “Volumetric water benefit accounting (VWBA): Midiendo el impacto real de la gestión corporativa del agua,” 2023. [En línea]. Disponible: <https://agrowanalytics.com/waterwise-insights/volumetric-water-benefit-accounting-vwba-midiendo-el-impacto-real-de-la-gestion-corporativa-del-agua/>

Derechos de Autor (c) 2026 Ericka Michell Ochoa Nuño, Jorge Armando Gutiérrez-Valencia, Francisco José Martín del Campo Saray, María Silvia del Rocío Covarrubias Ruesga, Ignacio Barajas-Ávalos



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)