

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Una revisión de la infraestructura verdi-azul para la mitigación de inundaciones
urbanas en regiones estuarinas

Proyecto de Titulación

Previo la obtención del Título de:

Magíster en Ciencias de la Tierra

Presentado por:

Jenifer Allison Malavé Hernández

Guayaquil-Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, hermanos, sobrinos, y amigos, quienes han sido un apoyo constante en mi vida personal y profesional, además de la inspiración para seguir apuntando hacia nuevas metas día a día.

Agradecimientos

Agradezco al Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT-ESPOL), lugar donde he obtenido gran parte de mi formación en el ámbito de la investigación.

A mi tutor, Ph.D. Paúl Carrión, y al Ing. Jhon Caicedo, quienes fueron una guía en el desarrollo de este trabajo, aportaron con sus opiniones y criterios para su mejora continua.

Declaración Expresa

Yo Jenifer Allison Malavé Hernández acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, septiembre del 2025.

Jenifer Allison Malavé Hernández

Evaluadores

Ing. Joselyne Solórzano, Ph.D. (c)

Evaluadora

Ing. Paúl Carrión Mero, Ph.D.

Tutor de proyecto

Resumen

Las Infraestructuras Verdi-Azules (IVAs) se reconocen como estrategias sostenibles para la mitigación de inundaciones. En entornos costeros urbanos, como los estuarios, es necesario comprender los avances en la investigación sobre la gestión de inundaciones mediante IVA para mejorar la eficacia de las estrategias de reducción de riesgos. Este trabajo tiene como objetivo analizar la literatura científica mediante técnicas bibliométricas y de revisión sistemática para el mapeo del desarrollo de campo y la identificación de IVAs utilizadas frecuentemente en ciudades estuarinas. El enfoque consideró i) la obtención de registros de análisis, ii) el estudio bibliométrico y iii) la revisión documental. El análisis bibliométrico abarcó 505 registros de las bases de datos Scopus y Web of Science. Los resultados revelaron una producción notable entre 2019 y 2024, con un 81,39% de publicaciones, evidenciando un crecimiento exponencial a una tasa anual del 21,15%. China lidera la investigación, representando el 41% de la producción, seguida de Estados Unidos (13%) e India (10%). El análisis de palabras clave identificó cinco grupos de investigación relacionados con la modelización de inundaciones, la adaptación al cambio climático, las soluciones para la gestión de inundaciones, la evaluación técnico-económica y la planificación integral. Las tendencias de investigación recientes, se han centrado en la resiliencia urbana a las inundaciones y la optimización de la modelización. La revisión de 31 casos de estudio indicó que las IVAs más utilizadas en zonas estuarinas incluyen techos verdes, pavimentos permeables, cosecha de aguas lluvias y celdas de biorretención. Este estudio proporciona una actualización sobre el desarrollo y la aplicación de las IVAs en contextos urbanos y de estuarios, ofreciendo información esencial para el diseño de estrategias eficaces de mitigación de inundaciones en ciudades con este tipo de entornos.

Palabras Clave: inundaciones urbanas, soluciones verde-azules, gestión de inundaciones, ambientes costeros, bibliometrix, PRISMA.

Abstract

Floods are among the most common and severe environmental challenges globally, with critical impacts on urban areas. In this context, Blue-Green Infrastructures (BGIs) are recognised as sustainable strategies for flood mitigation. In urban coastal environments, such as estuaries, there is a growing need to understand advances in research on flood management using BGIs to improve the effectiveness of risk reduction strategies. This work aims to analyse the scientific literature using bibliometric and systematic review techniques for field development mapping and identification of BGIs frequently used in estuarine cities. The approach considered i) analysis record obtention, ii) bibliometric study, and iii) document review. The bibliometric analysis covered 505 records from the Scopus and Web of Science databases. Results revealed notable production between 2019 and 2024, with 81.39% of publications, evidencing exponential growth at an annual rate of 21.15%. China leads the research, accounting for 41% of production, followed by the United States (13%) and India (10%). Keyword analysis identified five research clusters related to flood modelling, climate change adaptation, flood management solutions, techno-economic assessment, and integrated planning. Recent research trends have focused on urban flood resilience and modelling optimization. A review of 31 case studies indicated that the most commonly used BGIs in estuarine areas include green roofs, permeable pavements, rainwater harvesting, and bioretention cells. This study provides an update on the development and application of BGIs in urban and estuarine contexts, offering essential information for designing effective flood mitigation strategies in cities with these environments.

Keywords: urban flooding, blue-green solutions, flood management, coastal environments, bibliometrix, PRISMA.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	V
Índice de figuras	VI
Índice de tablas.....	VI
Capítulo 1	1
1. Introducción	2
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Justificación del problema	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	6
1.4 Marco teórico.....	7
1.4.1 <i>Inundaciones urbanas y sus desafíos en zonas estuarinas</i>	7
1.4.2 <i>Infraestructura verdi-azul (IVA) y sus funciones</i>	8
1.4.3 <i>Rol de la Infraestructura verdi-azul (IVA) en la gestión de inundaciones</i>	8
1.4.4 <i>Investigaciones secundarias</i>	9
Capítulo 2	11
2. Metodología	12
2.1. Diseño de la investigación.....	12
2.2. Fase I: Registro de análisis	13
2.3. Fase II: Estudio bibliométrico	15
2.4. Fase III: Revisión sistemática.....	15
Capítulo 3	18
3. Resultados y análisis	19

3.1	Producción científica y citas 19	19
3.2	Contribución por países 20	20
3.3	Análisis de revistas 21	21
3.4	Clústeres de palabras clave 23	23
3.5	Temas en tendencia 25	25
3.6	Revisión de casos de estudio en zonas urbanas estuarinas 26	26
Capítulo 4 33		33
4.	Conclusiones y recomendaciones 34	34
4.1	Conclusiones 34	34
4.2	Recomendaciones 35	35

Abreviaturas

BGI	Blue-Green Infrastructure (Infraestructura Verdi-Azul)
BMP	Best Management Practices (Mejores Prácticas de Manejo)
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IVA	Infraestructura Verdi-Azul
GI	Green Infrastructure (Infraestructura Verde)
JCR	Journal Citation Reports
LCC	Life Cycle Cost (Costo de Ciclo de Vida)
LID	Low Impact Development (Desarrollo de Bajo Impacto)
NbS	Nature-based Solutions (Soluciones basadas en la Naturaleza)
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
SJR	SCImago Journal Rank
SuDS	Sustainable Drainage Systems (Sistemas de drenaje sostenibles)
SWMM	Storm Water Management Mode
WoS	Web of Science

Índice de figuras

Figura 1.1	5
Figura 2.1	12
Figura 2.2	14
Figura 2.3	16
Figura 3.1	20
Figura 3.2	21
Figura 3.3	25
Figura 3.4	26
Figura 3.5	27
Figura 3.6	32

Índice de tablas

Tabla 3.1.....	22
Tabla 3.2.....	28

Capítulo 1

1. Introducción

Las inundaciones urbanas son una de las problemáticas más extendidas globalmente (Shariat et al., 2019). La acelerada urbanización ha provocado la impermeabilización de suelos naturales, aumentando las escorrentías superficiales y limitando la infiltración de las aguas lluvias (Y. Qin, 2020). En eventos de intensas tormentas los sistemas de drenaje tienden a colapsar, anegando vías, caminos, y zonas residenciales. A esto se suma el aumento poblacional y la migración urbana, que contribuyen a una mayor vulnerabilidad a inundaciones en las ciudades. Las consecuencias de las inundaciones urbanas son múltiples, con impactos negativos en la infraestructura pública, transporte, productividad, economía, seguridad y salud de las poblaciones (Chauhan et al., 2023; Lee et al., 2020).

En zonas costeras, la urbanización tiende a expandirse hacia deltas y estuarios aprovechando los servicios ecosistémicos y socio-económicos de estas zonas (e.g., transporte de carga, pesca, turismo y recreación) (Barbier et al., 2011; Lyddon et al., 2024). De hecho, los estuarios y deltas abarcan las zonas costeras más pobladas a nivel mundial (cerca del 60% de la población se asienta a lo largo de estuarios y costas) (United Nations, 2016). Sin embargo, el rápido crecimiento poblacional, el cambio de uso de suelo y el cambio climático, intensifican los riesgos de inundaciones en estas regiones interfase entre procesos marinos (marea, marejadas ciclónicas, olas) y terrestres-hidrológicos (precipitación, escorrentía, deshielo, aguas subterráneas). El aumento de las precipitaciones, la elevación del nivel del mar y la intensificación de las tormentas costeras inciden en una mayor frecuencia y magnitud de inundaciones urbanas, amenazando infraestructuras críticas y poniendo en peligro a las poblaciones locales. Se estima que, sin las correctas medidas, al final de este siglo las inundaciones costeras afectarán entre 1.6 y 3.9 millones de habitantes (Vousdoukas et al., 2020).

En la gestión de inundaciones urbanas, los enfoques tradicionales basados en infraestructuras grises, como redes de drenaje, instalaciones de almacenamiento o estaciones de bombeo, han

mostrado sus limitaciones en términos de sostenibilidad y adaptabilidad a las condiciones climáticas cambiantes (Chen et al., 2021). En este contexto, conceptos como la Infraestructura Verdi-Azul (IVA) o *Blue-Green Infrastructure (BGI)* (Mugume & Nakyanzi, 2024; Wescoat Jr. & Rawoot, 2021), aparecen como un enfoque novedoso para fortalecer la gestión de los desafíos climáticos, al ofrecer soluciones flexibles y adaptativas al medio urbano. Las IVAs son un tipo de Solución basada en la Naturaleza (NbS, por sus siglas en inglés), que comprenden sistemas de espacios verdes (terrenos, parques) y azules (agua) para la gestión urbana del riesgo de inundaciones, especialmente pluviales. De acuerdo con la literatura, las IVAs pueden definirse como redes gestionadas de componentes naturales, seminaturales o diseñadas, que abarcan espacios verdes y masas de agua, y que se encuentran dentro de zonas rurales y urbanas, contribuyendo con beneficios ecológicos, ecosistémicos y socioeconómicos a la sociedad (Bartesaghi Koc et al., 2017; Ghofrani et al., 2017). Entre estas infraestructuras se encuentran los pavimentos permeables, techos verdes, estanques de retención y detención, ríos re-naturalizados y des-alcantarillados, y jardines de lluvia.

Aunque el término 'verdi-azul' o infraestructura 'verde/azul' comenzó a utilizarse hace menos de tres décadas (con orígenes a finales del siglo XX (Polo-Martín, 2025)), este enfoque es similar a conceptos como las NbS (Aghaloo et al., 2024; Manandhar et al., 2023; Radu et al., 2025), Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés) (Quichimbo-Miguitama et al., 2022), Infraestructura Verde (GI, por sus siglas en inglés) (Zhang et al., 2025), Mejores Prácticas de Manejo (BMP, por sus siglas en inglés) (Bhusal et al., 2024; Malaviya et al., 2019), o Sistemas de Drenaje Sostenibles (SuDS, por sus siglas en inglés) (D'Ambrosio et al., 2023; Mondal & Garg, 2025); enfatizando una mayor sinergia entre el ecosistema y el desarrollo urbano.

1.1 Descripción del problema

Las ciudades están enfrentando un aumento en la intensidad y frecuencia de las inundaciones, debido a la acelerada urbanización y al cambio climático. La creciente urbanización

sella los suelos naturales, mientras que el cambio climático, origina lluvias más intensas en cortos periodos, además de influir en el aumento del nivel del mar. Según las Naciones Unidas (2018), el 68% de la población mundial vivirá en zonas urbanas para el 2050, lo que aumenta la urgencia en la adopción de soluciones resilientes y sostenibles, para el control de inundaciones.

Ante este problema, los sistemas tradicionales de drenaje (infraestructura gris que compone la red pluvial), han mostrado capacidades limitadas para la gestión del agua, exigiendo enfoques complementarios a los existentes. En alineación con esto, la Infraestructura Verdi-Azul (IVA) (espacios urbanos verdes y azules), ha sido propuesta como una estrategia complementaria para gestionar el agua y reducir el riesgo de inundaciones en las ciudades (Dhanya et al., 2022). Sin embargo, los contextos costeros, suelen ser más vulnerables debido a las dinámicas propias, que combinan factores meteorológicos con la dinámica marina, incidiendo en una mayor posibilidad de inundaciones y la forma en que éstas pueden ser gestionadas en el medio urbano.

Las investigaciones secundarias son útiles ya que ayudan a sintetizar el conocimiento científico en una temática de interés, contribuyendo a aminorar la dispersión del conocimiento, aumentando la aplicabilidad, replicabilidad, y escalabilidad de soluciones en diversos contextos (Morante-Carballo et al., 2022).

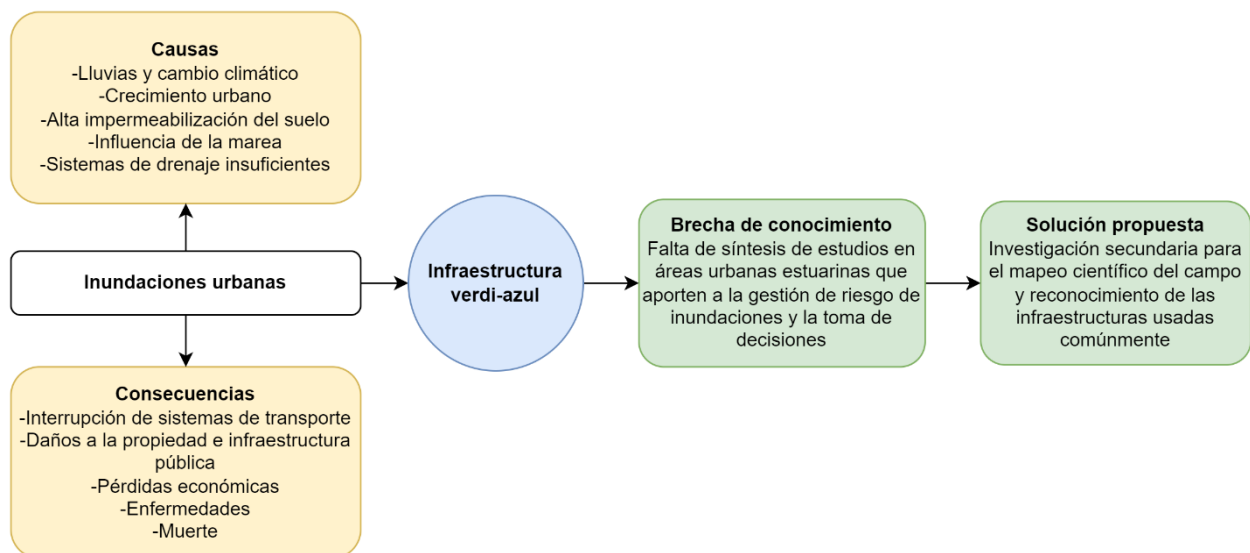
Actualmente, existe una amplia literatura secundaria en el campo de la IVA (o sus conceptos relacionados) y las inundaciones. La mayoría de las revisiones se centran, en términos generales, en los beneficios (Skrydstrup et al., 2022), las limitaciones y los desafíos (Jia et al., 2017), o la eficacia de estas tecnologías (Esraz-Ul-Zannat et al., 2024). En consecuencia, se ha prestado poca atención a la especificidad de un enfoque de revisión geográfica, como el de los entornos estuarinos, donde las interacciones entre las mareas y el drenaje de aguas pluviales pueden suponer un reto para la selección y la aplicación de las IVAs. Por lo que, existe una importante brecha de investigación en la identificación de las IVAs más eficaces en estos entornos, de acuerdo con los estudios existentes, que puedan servir de guía para profesionales, responsables

de la toma de decisiones y responsables políticos a la hora de seleccionar este tipo de infraestructuras de forma más eficaz para la gestión de inundaciones. La **Figura 1.1** resume la problemática y justificación de este estudio.

En este contexto, este trabajo busca responder las siguientes preguntas de investigación: ¿Cómo ha evolucionado la producción científica y qué países son líderes en este campo? ¿Cuáles son las principales líneas temáticas y tendencias en la investigación sobre IVA para la mitigación de inundaciones? ¿Cuáles son las IVAs más utilizadas para abordar las inundaciones urbanas en zonas estuarinas?

Figura 1.1

Problema de estudio y justificación



1.2 Justificación del problema

La necesidad de fortalecer estrategias sostenibles para gestión de inundaciones en contextos urbanos estuarinos ha ganado relevancia por la creciente presión sobre estos entornos, donde convergen bajas topografías, alta densidad poblacional, factores meteorológicos y la exposición a dinámicas fluviales y costeras. En este marco, las IVAs ofrecen alternativas de bajo impacto para mejorar la gestión del riesgo y resiliencia ante inundaciones. Sin embargo, su

aplicación efectiva requiere de una comprensión fundamentada sobre su funcionamiento y sus condiciones de implementación.

Este estudio se justifica por la necesidad de apoyar una gestión del riesgo de inundaciones adaptativa, sostenible y basada en la evidencia en las zonas urbano-estuarinas, que se encuentran cada vez más en la primera línea de las presiones climáticas e hidrológicas. Los resultados de esta revisión serán relevantes no solo para investigadores y profesionales, sino también para planificadores y responsables de la toma de decisiones que se esfuerzan por fortalecer la resiliencia en algunos en los entornos costeros más vulnerables.

Además, esta investigación aporta al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular al ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) (United Nations, 2021a) y ODS 13 (Acción por el clima) (United Nations, 2021b), al promover alternativas de sostenibilidad y resiliencia climática en la gestión de riesgos. Por lo que, esta tesis se justifica tanto por la pertinencia del problema, como por su potencial contribución al campo temático de investigación, la formulación de políticas públicas y la gestión ambiental territorial.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Analizar la literatura indexada a Scopus y Web of Science (WoS) en el campo del uso de las IVAs en la mitigación de inundaciones en ciudades estuarinas, mediante técnicas de análisis bibliométrico y una revisión sistemática con el método Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA), para el mapeo de la estructura científica, las tendencias temáticas y la identificación de las soluciones más usadas en este contexto.

1.3.2 *Objetivos específicos*

1. Identificar los principales países y fuentes que contribuyen a la temática de la IVA aplicada al control de inundaciones en contextos urbano-estuarinos aplicando técnicas de análisis

bibliométrico de bases de datos científicas especializadas, para el reconocimiento de esfuerzos académicos y brechas geográficas.

2. Determinar clústeres temáticos y tendencias de investigación en el campo de la IVA aplicada al control de inundaciones en contextos urbano-estuarinos, a través del análisis de coocurrencia y tendencias de palabras clave, para la identificación de líneas de investigación, temas emergentes y lagunas conceptuales en la literatura.
3. Identificar las IVAs frecuentemente utilizadas en zonas urbano-estuarinas mediante una revisión sistemática de la literatura siguiendo el método PRISMA, para la obtención de una síntesis de estas prácticas en la gestión de inundaciones.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Inundaciones urbanas y sus desafíos en zonas estuarinas

Las inundaciones urbanas se refieren a inundaciones de densas áreas pobladas. Este tipo de inundaciones acarrearán múltiples impactos, con efectos negativos en la movilidad, transporte, servicios básicos, infraestructura pública, y economía (Hammond et al., 2015). Además, son responsables de numerosas muertes y afectaciones a la salud. Las causas de estas inundaciones obedecen a dos mecanismos principales, por un lado, eventos externos (por ejemplo, desbordamiento de ríos) que afectan ciudades ubicadas en llanuras aluviales, y por otro, escorrentías de origen pluvial en el área urbana (Marco & Cayuela, 1994).

Las áreas urbanas se caracterizan por la alta impermeabilización del suelo, lo que reduce la posibilidad de infiltración del agua, aumentando las escorrentías superficiales. Aunque existen sistemas grises de gestión hídrica (red pluvial, canales), a menudo éstos se ven colapsados, debido al excesivo flujo de agua, provocando inundaciones (Y. Qin, 2020).

En zonas costeras, como los estuarios el panorama es más complejo, pues características propias de la zona como altos niveles freáticos, bajas tasas de infiltración, y el dinamismo de las mareas, afectan los sistemas pluviales, dificultando la gestión del agua. A esto se suman factores

como el incremento urbano, que reduce la disponibilidad de áreas verdes, y el cambio climático, que impacta sobre la intensidad y frecuencia de las precipitaciones y, sobre el aumento del nivel del mar (Dharmarathne et al., 2024; Rahimi et al., 2020).

1.4.2 Infraestructura verdi-azul (IVA) y sus funciones

La IVA abarca una gama de enfoques para el diseño, desarrollo y gestión de espacios verdes (suelo) y azules (agua). El concepto está asociado a enfoques más conocidos como GI, LID, BMP o NbS. Sin embargo, el término IVA, se utiliza para garantizar la inclusión de elementos “azules” en el concepto (Mell & Scott, 2023). En sí, las IVAs pueden describirse como redes de elementos naturales, seminaturales y diseñados, que incluyen cuerpos de agua y espacios verdes (Ghofrani et al., 2017). Algunos ejemplos de estas soluciones son las lagunas de retención, los techos verdes, las zanjas de infiltración, humedales y los jardines de lluvias.

Este tipo de infraestructuras ofrecen una gama de soluciones a los desafíos asociados con la urbanización, como, por ejemplo, el calor, la contaminación, y la alteración del balance hídrico, por lo que su implementación es cada vez más frecuente en las ciudades. Además, de ofrecer otros co-beneficios a nivel urbano, como mejoras en la biodiversidad, estética y amenidades/recreación (Lamond & Everett, 2019).

1.4.3 Rol de la Infraestructura verdi-azul (IVA) en la gestión de inundaciones

En la gestión de inundaciones urbanas, las IVAs juegan un rol preponderante, al ser reconocidas en la literatura internacional como un enfoque de resiliencia ante inundaciones y de considerarse como una forma más respetuosa de gestionar el riesgo de inundaciones (particularmente, pluviales) (Lamond & Everett, 2019). La plantación de vegetación diversa a través de intervenciones de IVA puede contribuir a la reducción del volumen y velocidad de las escorrentías, aumentando las tasas de infiltración y la capacidad de almacenamiento de la cuenca hidrográfica al convertir las superficies impermeables a espacios naturales, lo que mitiga la inundación aguas abajo (Haase, 2017). Cubiertas como los techos verdes son un método

especialmente eficiente para mitigar la escorrentía pluvial. Estudios en Estados Unidos y Australia revelaron que en promedio, estas soluciones, pueden retener el 69 % del volumen de lluvia y reducir las tasas máximas de descarga en un 86 % en tormentas más pequeñas (Carpenter & Kaluvakolanu, 2011; Razzaghmanesh & Beecham, 2014). Infraestructuras a mayor escala como los humedales, reducen el riesgo de inundaciones al aumentar la capacidad de almacenamiento en zonas urbanas y permitir la liberación controlada de agua a los cuerpos de agua aguas abajo.

De igual manera, la integración de cuerpos de agua dentro de la IVA contribuye a la mitigación del volumen y velocidad de las escorrentías pluviales, al ralentizar y controlar las descargas hacia los cuerpos de agua receptores (McNabb et al., 2024). Asimismo, investigaciones en China mostraron que la implementación de humedales, en conjunto a espacios verdes y pavimentos permeables, redujeron la escorrentía anual y el pico máximo promedio de inundación anual, en un 99% y 91%, respectivamente (F. Li et al., 2017).

1.4.4 Investigaciones secundarias

Las investigaciones secundarias se basan en datos recogidos por otros investigadores, sin embargo, abordan nuevas preguntas del conjunto de datos de origen primario. Este tipo de investigaciones al igual que las investigaciones primarias, requieren de conocimientos base para identificar preguntas de investigación importantes y encontrar conjuntos de datos apropiados. La mayoría de estos análisis usan datos cuantitativos, pero también algunos estudios cualitativos pueden ser utilizados (Rogers et al., 2020).

Las ventajas de estas investigaciones incluyen el ahorro de tiempo, dinero y trabajo (en comparación con la recolección de datos primarios), la posibilidad de dar origen a estudios de alto impacto que posiblemente sean muy costosos o demandantes para estudios primarios, y la generación de nuevas hipótesis. Además, evitan la repetición de estudios y la sobre investigación en temas sensibles o populares (Liao et al., 2018; Matandirotya, 2021).

Entre las investigaciones secundarias, se distinguen varios grupos, como, la bibliometría, los estudios de mapeo, las revisiones de literatura y las revisiones sistemáticas. La bibliometría consiste en la evaluación cuantitativa de documentos publicados, incluyendo autores y revistas (Acosta et al., 2025; Carrión-Mero et al., 2024a). Los estudios de mapeo, en cambio, se basan en análisis de la estructura intelectual y las relaciones existentes entre los documentos de una colección de datos bibliográficos (Escandón-Panchana et al., 2024; Herrera-Franco et al., 2023). Las revisiones de literatura por su parte, son documentos que recopilan, sintetizan y evalúan críticamente las investigaciones publicadas en una temática específica, para identificar el estado del conocimiento (Berrezueta et al., 2021; Herrera-Franco et al., 2025a; Rodríguez-Zurita et al., 2025a). Mientras que, las revisiones sistemáticas son investigaciones que buscan respuesta a preguntas específicas, valiéndose de protocolos preestablecidos. Su objetivo principal es resumir la información disponible de temáticas particulares (Briones-Bitar et al., 2025a; Briones-Bitar et al., 2025b; Manterola et al., 2013; Rodríguez-Zurita et al., 2025b).

Estos grupos de investigaciones secundarias pueden combinarse entre sí, fortaleciendo el análisis bibliográfico para mejorar la comprensión de la temática o campo de investigación (Herrera-Franco et al., 2025b; Morante-Carballo et al., 2024; Solórzano et al., 2024).

Capítulo 2

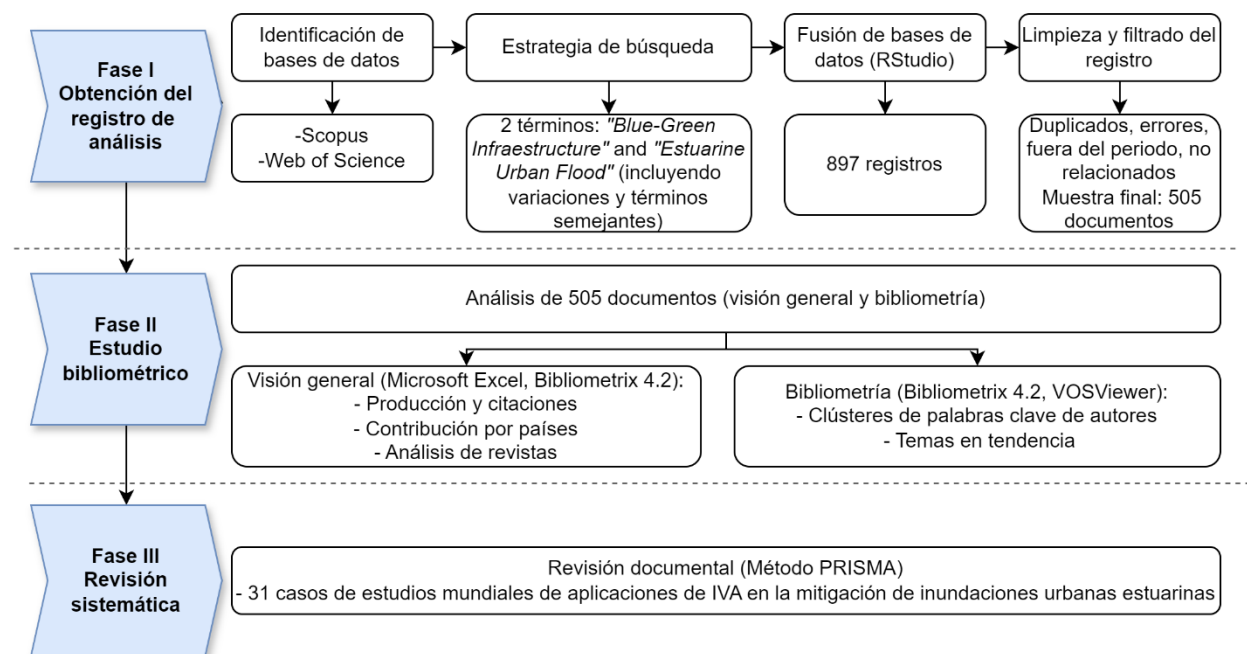
2. Metodología

2.1. Diseño de la investigación

Esta investigación se desarrolló mediante una metodología mixta combinando un análisis bibliométrico y una revisión sistemática basada en el método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). El objetivo del enfoque bibliométrico fue analizar la producción y evolución en el tiempo de la investigación en el área de la IVA para el estudio de inundaciones urbanas, permitiendo un entendimiento general de la temática. Mientras que, la revisión sistemática basada en el método PRISMA (Page et al., 2021), dio pie a la identificación de las IVAs más utilizadas para el control de inundaciones en zonas estuarinas. La investigación se realizó en tres fases, que incluyeron: i) obtención del registro de análisis, ii) estudio bibliométrico, y iii) revisión sistemática de documentos (**Figura 2.1**).

Figura 2.1

Esquema metodológico del estudio



2.2. Fase I: Registro de análisis

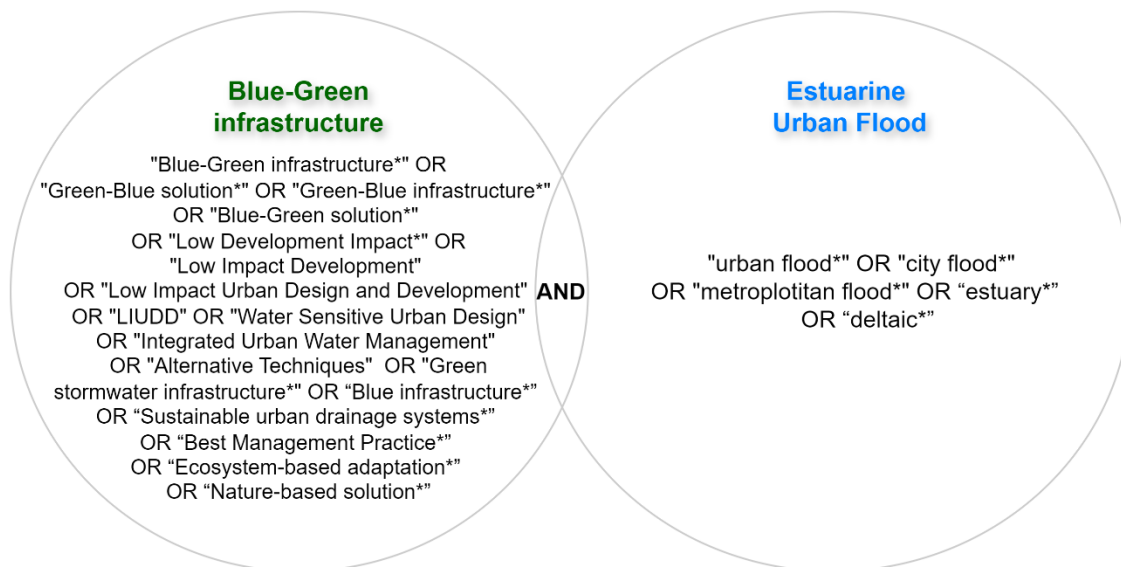
La obtención del registro de análisis en esta investigación consideró cuatro etapas: identificación de bases de datos, estrategia de búsqueda, fusión de bases de datos, limpieza y filtrado del registro.

La identificación de las bases de datos consistió en la selección de las bases de datos de publicaciones científicas, utilizadas para la extracción de los documentos o registros de interés. Esta investigación contempló el uso de las bases Scopus y WoS, debido a criterios como la amplia cobertura de su registro y sus índices de calidad para la medición de sus publicaciones como el SCImago Journal Rank (SJR) y el Journal Citation Reports (JCR) (Pranckutė, 2021).

La estrategia de búsqueda contempló la construcción de una ecuación mediante términos claves en la temática de investigación y la selección de criterios de búsqueda que permitan la obtención de los registros bases en cada base de datos. La ecuación de búsqueda utilizó dos términos principales: “*Blue-Green Infrastructure*” y “*Estuarine Urban Flood*”, así como sus posibles variantes o términos asociados, los cuales fueron asociados mediante conectores booleanos como OR y AND, según la **Figura 2.2**. Esta búsqueda consideró la aparición de los términos en títulos, resúmenes y palabras claves. Los criterios de búsqueda incluidos fueron: todo tipo de documento, lenguaje inglés, etapa de publicación final (documentos en su versión publicada definitiva), y periodo de publicación hasta el 2024, lo que permitió obtener 760 registros iniciales en la base de *Scopus* y 605 registros en la base de *WoS*.

Figura 2.2

Estrategia de búsqueda para la obtención del registro de análisis



La fusión de las bases de datos contempló la unificación de los registros bases de Scopus y WoS obtenidos a partir de la estrategia de búsqueda, con el fin de eliminar registros duplicados. Para ello, se utilizó el software RStudio y su paquete Bibliometrix. Esta unificación permitió la eliminación de 468 registros duplicados, totalizando un registro base de 897 documentos.

Finalmente, el registro base fue sometido a un proceso de limpieza y filtrado para eliminar documentos que pudieran generar sesgos de investigación. Para esto, se utilizó el software de ofimática Microsoft Excel y sus herramientas de formato condicional y filtros, con lo cual se eliminaron registros duplicados no detectados previamente (8), registros con errores (1), y registros fuera del periodo de análisis (62). Además, mediante la revisión de títulos y resúmenes, se descartaron documentos no relacionados a la temática (321) (por ejemplo, aplicaciones IVA a problemáticas diferentes de inundaciones, o que solo llevan la palabra, pero no tratan directamente el tema). El registro final constó de 505 documentos. Este número se considera representativo ya que se obtuvo utilizando una estrategia de búsqueda rigurosa en un periodo lo suficientemente amplio para capturar las dinámicas del área investigada. Además, el volumen de documentos

recuperados supera el mínimo analítico recomendado de 200 (Rogers et al., 2020) o 500 (Donthu et al., 2021), en estudios bibliométricos para obtener métricas estables y evitar malinterpretaciones.

2.3. Fase II: Estudio bibliométrico

Con los datos procesados y limpiados (505 documentos) se llevó a cabo el estudio bibliométrico. La bibliometría es un método cuantitativo (matemático-estadístico) para el análisis de literatura científica, basado en características como el número de publicaciones y citas, correspondencia geográfica o frecuencia de palabras, permitiendo el entendimiento de los avances en un campo de investigación determinado (por ejemplo, nivel de productividad, distribución geográfica, estado, tendencias) (Liao et al., 2018; Matandirotya, 2021; Morante-Carballo et al., 2025).

El estudio bibliométrico contempló un análisis general del registro, con el fin de estudiar el desarrollo y evolución de las publicaciones del campo temático en el tiempo (comportamiento histórico del número de publicaciones y citas); y la identificación de fuentes/revistas, y países más productivos en el área de investigación. Además, se realizaron análisis bibliométricos más avanzados como clústeres de palabras claves de autores (*Author keyword clusters*), y temas en tendencia (*Trend topics*). Para la creación de las distintas visualizaciones se utilizaron los softwares Microsoft Excel, Biblioshiny de RStudio versión 4.2, y VOSviewer versión 1.6.20 (Berrezueta et al., 2024; Masaquiza et al., 2023).

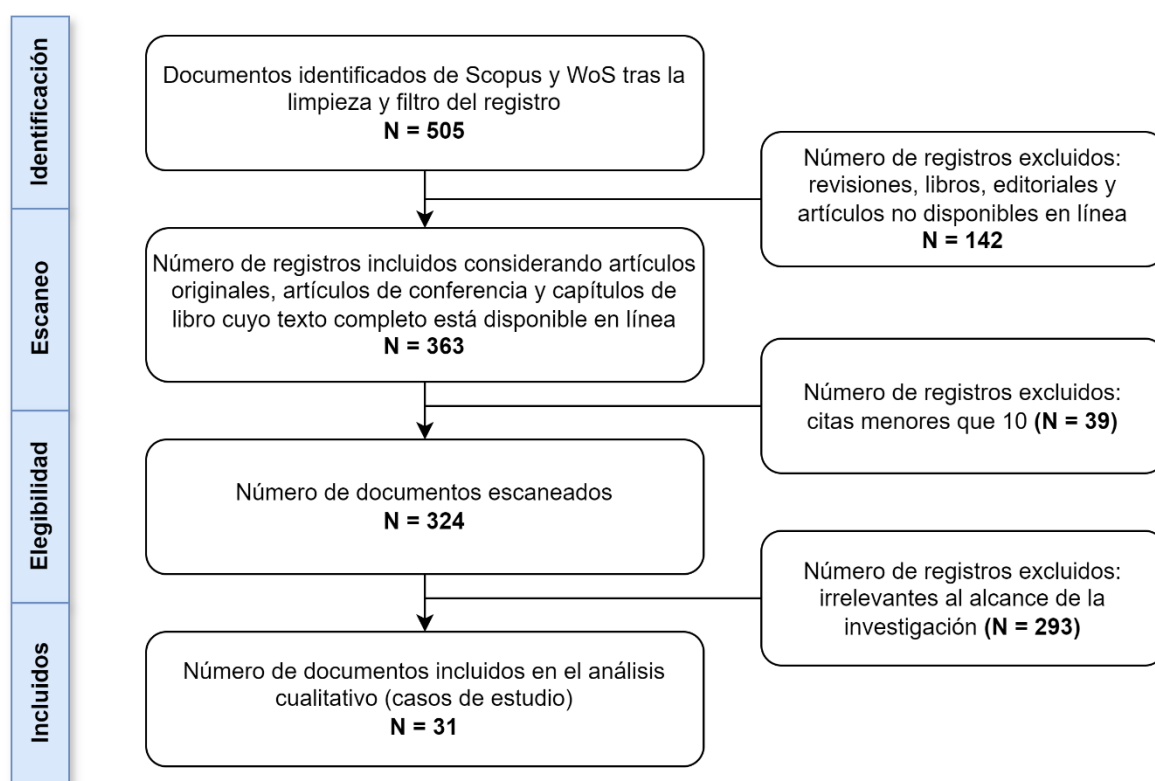
2.4. Fase III: Revisión sistemática

La revisión sistemática siguió los lineamientos del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) de Page et al., 2021, para sintetizar la evidencia científica sobre la aplicación de las IVAs en la mitigación de inundaciones urbano estuarinas. Este método proporciona un proceso estructurado para la realización de revisiones sistemáticas y reportes de investigación, asegurando la rigurosidad en la obtención de los documentos de análisis,

la transparencia, y la reproducibilidad (Carrión-Mero et al., 2024b; Herrera-Franco et al., 2024). El método PRISMA consta de cuatro etapas que incluyen: identificación, escaneo, elegibilidad e inclusión. La esquematización de estas cuatro etapas seguidas en el presente estudio se muestra en la **Figura 2.3**.

Figura 2.3

Etapas del protocolo PRISMA empleado en la revisión sistemática



La primera etapa, “Identificación” comprendió el reconocimiento de los registros de partida para la revisión sistemática. En esta etapa, se utilizaron los 505 documentos de las bases de datos Scopus y WoS, unificadas, limpiadas y filtradas, correspondientes al registro de análisis obtenido en la Fase I. En la segunda etapa, “Escaneo”, los documentos se filtraron por tipo de documento, excluyendo aquellos correspondientes a artículos de revisión, libros, y editoriales, con el fin de garantizar la revisión de estudios originales primarios. Además, mediante la búsqueda en el navegador, se excluyeron los artículos cuyo texto completo no estuviera disponible en línea. Con la exclusión de 142 documentos que no cumplieron los criterios, el registro se redujo a 363 documentos. La tercera etapa, “Elegibilidad”, consistió en el criterio de elegibilidad de los

documentos, considerando documentos con más de 10 citas debido al impacto de la investigación en el campo de estudio, lo que redujo el registro a 324 documentos. Finalmente, en la etapa “Incluidos”, se seleccionaron 31 casos de estudio correspondientes a la aplicación de IVAs en el control de inundaciones urbanas en contextos estuarinos.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

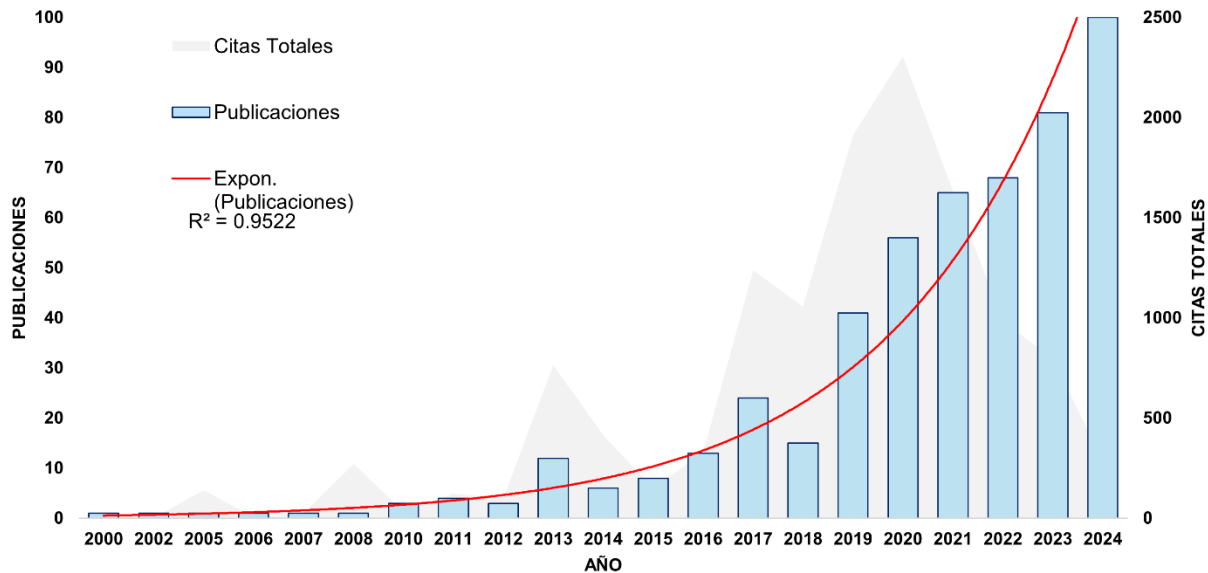
3.1 Producción científica y citaciones

La producción científica muestra sus inicios en el 2000, abarcando un total de 505 documentos que tuvieron 12,556 citaciones hasta el 2024 (**Figura 3.1**). La tendencia histórica de publicaciones y citas mostró un aumento constante de la producción científica relacionada con el tema. Se evidenció que entre 2000 y 2018 la cantidad de publicaciones en la temática era limitada, destacando el año 2017 donde se realizaron 24 publicaciones en el área, con principales contribuciones de China por resultados de la iniciativa Ciudad Esponja (Chikhi et al., 2023). En este periodo, algunos estudios relevantes trataron temas como evaluación de Desarrollo de Bajo Impacto, Ciudades Esponja, flujo pico y reducción de corrientes, en relación con las inundaciones urbanas (Chan et al., 2018; Dietz & Clausen, 2008; Mei et al., 2018; H. Qin et al., 2013). Sin embargo, a partir del 2019, ocurrió un incremento notable de las publicaciones y citaciones, siendo el periodo 2019-2024 el más productivo, con el 81.39% del total de publicaciones. En este segundo periodo, algunas investigaciones principales estuvieron orientadas a temas como mitigación del cambio climático, análisis de co-beneficios en el uso de IVAs, evaluación del desempeño de las IVAs, y sostenibilidad (Alves et al., 2019, 2020; Lamond & Everett, 2019; Q. Li et al., 2019; Pour et al., 2020). Los resultados indican que la producción científica se ajusta a un crecimiento exponencial de 21.15% al año, con una curva de ajuste de $R^2 = 0.9522$. Este auge productivo (2019-2024) podría relacionarse directamente con los ODS de la Agenda 2030, en particular el ODS 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” y el ODS 13 “Acción por el clima”, que impulsaron el interés en soluciones urbanas en aspectos de gestión, planificación, reducción de impactos ambientales y preparación frente al cambio climático (Owusu-Sekyere et al., 2024; United Nations, 2018). Además, el aumento de eventos climáticos extremos, como la intensificación de las lluvias, han aumentado la demanda por enfoques complementarios y basados en la naturaleza para la mejora de la gestión del riesgo de inundaciones urbanas (Zhou et al., 2024). El crecimiento

constante de las citas también destaca la creciente visibilidad e influencia de estos estudios en el panorama académico general, mostrando la consolidación del campo.

Figura 3.1

Producción científica asociada al estudio de la Infraestructura Verdi-Azul para el control de inundaciones urbanas



3.2 Contribución por países

Un total de 52 países del mundo contribuyeron a las 505 publicaciones (**Figura 3.2**). El análisis por país reveló claros patrones geográficos de productividad investigadora. Entre los países más productivos destacaron China, Estados Unidos, India y el Reino Unido, lo que indica su fuerte interés institucional y político en el tema, afianzado por proyectos e iniciativas nacionales. Por ejemplo, el programa nacional Ciudad Esponja en China (Chikhi et al., 2023), programas regulatorios y de transición verde como la Ley de Infraestructura Bipartidista (2021) y la Agenda Estratégica de Infraestructura Verde de la Agencia de Protección Ambiental (2016) en Estados Unidos (Biden, 2021; Chini et al., 2017), y las estrategias de resiliencia urbana en India como el Plan de Acción Nacional en Cambio Climático y la Misión Ciudades Inteligentes (Chandel et al., 2016; Yereseme et al., 2022).

La presencia de países desarrollados y en desarrollo entre los principales contribuyentes refleja la importancia del tema a nivel global, en particular en regiones que enfrentan desafíos

mostrar uno de los valores más bajos de Factor de Impacto (FI), con un valor de 3. Mientras que, revistas como *Journal of Environmental Management* (23 publicaciones, 1550 citas, 67.39 citas promedio por documento) y *Journal of Hydrology* (17 publicaciones, 469 citas, 27.59 citas promedio por documento), mostraron mayor impacto de citas promedio, lo que indica que las contribuciones en estas revistas, aunque en menor número, tienden a generar mayor influencia en el campo.

Revistas de alto FI como *Journal of Cleaner Production* (FI=9.8) y *Sustainable Cities and Society* (FI=10.5) también aparecen en el ranking, destacando que el tema está siendo abordado de forma interdisciplinaria, no solo desde estudios hidrológicos, sino también en ámbitos como la sostenibilidad, urbanística y gestión ambiental. Por otro lado, revistas como *Water Science and Technology*, *Lecture Notes in Civil Engineering* y *Land*, mostraron un menor número de citas, sugiriendo que, si bien contribuyen productivamente, su influencia en el campo es aún limitada.

Desde el análisis de cuartiles, la mayoría de las revistas del ranking pertenecen a categorías Q1 o Q2 en Scopus y WoS, lo que refleja la consolidación de las investigaciones en revistas de alta calidad, sugiriendo madurez científica del campo temático.

En términos generales, en el campo de las IVAs sobre el control de inundaciones urbanas, la productividad no representa contribuciones más influyentes. Esta dualidad entre productividad e impacto resalta la importancia de considerar ambas métricas al evaluar la estructura del conocimiento de la investigación.

Tabla 3.1

Top 10 de revistas más productivas.

Fuentes	Publicaciones	Citas	Cuartil Scopus	WoS Cuartil JCI	WoS Cuartil JIF	FI
<i>Water Sustainability</i>	41	901	Q1 (84%)	Q2 (62.1%)	Q2 (69.1%)	3.0
<i>Journal of Environmental Management</i>	24	376	Q1 (88%)	Q2 (55.6%)	Q3 (36.8%)	3.3
<i>Journal of Hydrology</i>	23	1550	Q1 (95%)	Q1 (89.9%)	Q1 (90.4%)	8.0
	17	469	Q1 (94%)	Q1 (96.4%)	Q1 (92.6%)	5.1

<i>Science of the Total Environment</i>	13	837	Q1 (95%)	Q1 (92.3%)	Q1 (91.5%)	8.2
<i>Water Science and Technology</i>	13	186	Q2 (67%)	Q3 (30.2%)	Q3 (41.8%)	2.5
<i>Water Resources Management</i>	13	306	Q1 (87%)	Q1 (82.1%)	Q1 (81.0%)	3.9
<i>Journal of Cleaner Production</i>	13	774	Q1 (98%)	Q1 (90.7%)	Q1 (93.4%)	9.8
<i>Lecture Notes in Civil Engineering</i>	12	28	Q4 (14%)	-	-	-
<i>Sustainable Cities and Society</i>	10	571	Q1 (99%)	Q1 (98.4%)	Q1 (97.3%)	10.5
<i>Land</i>	10	165	Q1 (77%)	Q2 (58.9%)	Q2 (62.9%)	3.2

Nota. Q1 (top 25% de revistas), Q2 (50%-75%), Q3 (25%-50%), y Q4 (0%-25%), JCI: Journal Citation Indicator, JIF: Journal Impact Factor, FI: Factor de Impacto.

3.4 Clústeres de palabras clave

El análisis de clústeres de palabras clave (**Figura 3.3**), permitió identificar cinco grupos temáticos en la investigación relacionada a la aplicación de las IVAs en el control de inundaciones urbanas:

- Clúster 1 “modelación de inundaciones” (rojo): Se enfoca en modelos como Stormwater Management Model (SWMM) y análisis complementarios (sensibilidad, costo-beneficio, Sistemas de Información Geográfica) para simular escenarios de inundación y apoyar la toma de decisiones (Costa et al., 2021; Ortega Sandoval et al., 2023).
- Clúster 2 “adaptación al cambio climático” (verde): Destaca la planificación urbana resiliente y NbS, como la vegetación y el ordenamiento territorial, frente a eventos extremos (Monteiro & Ferreira, 2020; Quagliolo et al., 2021).
- Clúster 3 “soluciones para la gestión de inundaciones” (azul): Promueve el uso de infraestructura verde-azul (techos verdes, pavimentos permeables, captación de lluvia) para reducir escurrimientos y mejorar la calidad del agua (Hu et al., 2019; Samouei & Özger, 2020).

- Clúster 4 “evaluación técnico-económica” (amarillo): Analiza soluciones híbridas (verde-gris) a escala comunitaria, combinando modelación hidrodinámica con evaluaciones económicas para optimizar la gestión pluvial (Leng et al., 2021; Ramos & Besharat, 2021).
- Clúster 5 “planificación integral” (violeta): Plantea un enfoque integral de planificación urbana, considerando dimensiones ecológicas, económicas y sociales, con énfasis en los servicios ecosistémicos (Lawson et al., 2014; O’Donnell et al., 2020a; Tang et al., 2018).

El primer clúster (rojo) muestra un predominio relacionado al modelamiento de inundaciones urbanas en softwares especializados, constituyendo un soporte base para el análisis investigativo. El segundo y tercer clúster (verde y azul) reflejan el uso de enfoques que se orientan a la adaptación y la resiliencia frente al cambio climático para la sostenibilidad urbana, donde las IVAs adquieren protagonismo. El cuarto grupo (amarillo) evidencia un enfoque hacia la viabilidad local y de implementación, resaltando análisis a escala comunitaria y consideraciones económicas. Y, el quinto clúster (violeta), muestra un enfoque integral, que conjunta la gestión del riesgo y la planificación urbana, con consideraciones ambientales y socioeconómicas. Este análisis refleja que la investigación en el campo no se limita al análisis con bases hidrológicas (modelación), sino que evoluciona hacia enfoques holísticos y multidisciplinarios para la sostenibilidad y resiliencia a nivel urbano.

Mapa de redes de palabras clave de autores y clústeres de investigación

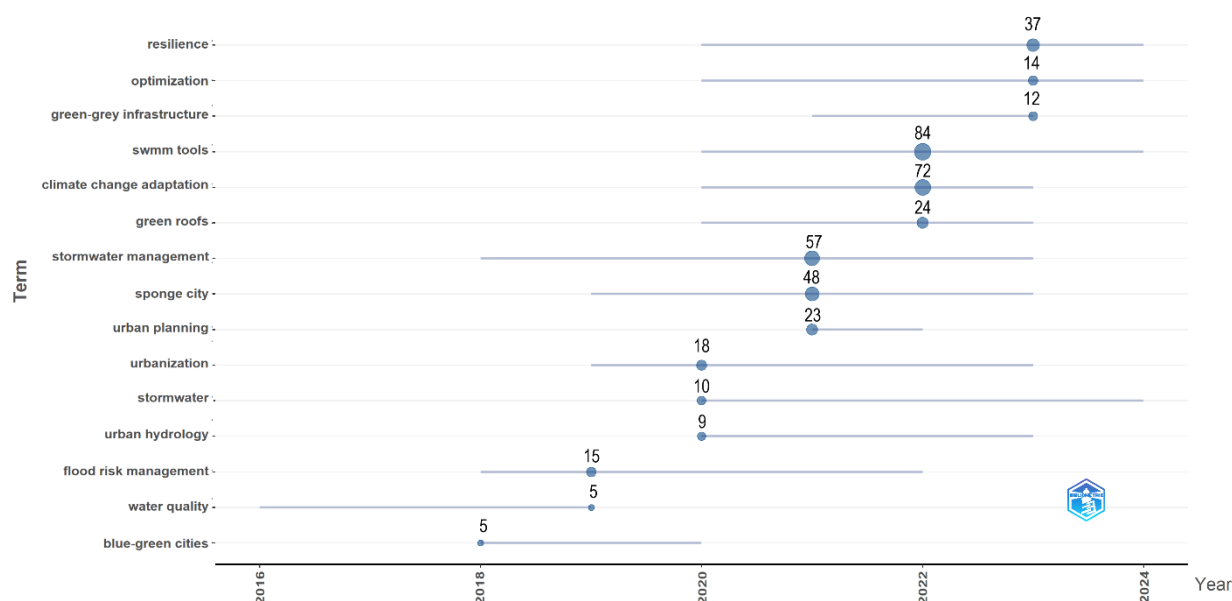


25

Además, la frecuencia de la palabra *SWMM tools*, refleja la mayor necesidad hacia el uso de modelos hidrológicos para aspectos de planificación urbana. El uso continuo de términos como *sponge city* y *grey-green infrastructure* indica una acentuación de la investigación hacia enfoques híbridos, integrando soluciones naturales y sistemas grises tradicionales.

Figura 3.4

Temas en tendencia basado en palabras clave de los autores



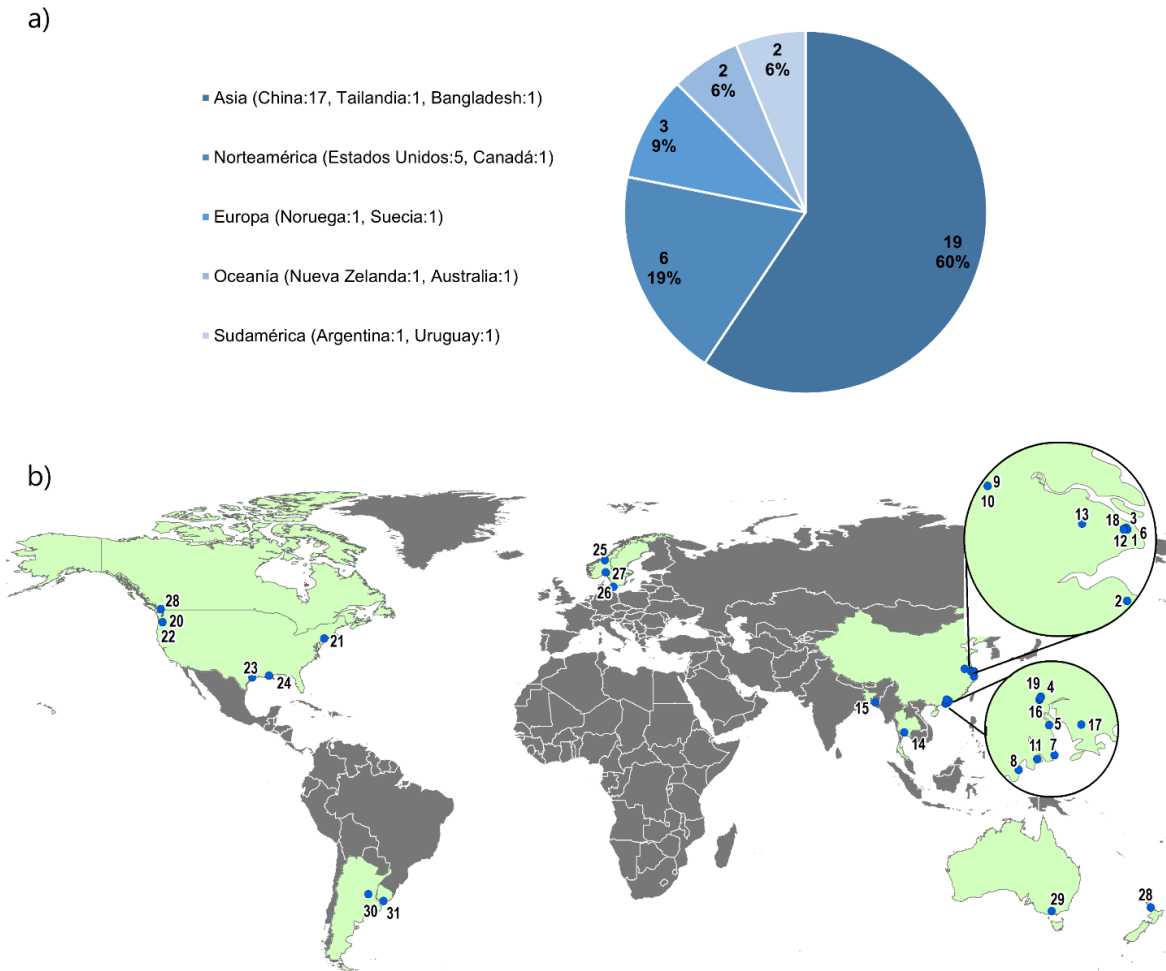
3.6 Revisión de casos de estudio en zonas urbanas estuarinas

La revisión sistemática utilizando el método PRISMA permitió identificar 31 casos de estudio mundiales asociados a la aplicación de IVA en zonas estuarinas desde el año 2014, de acuerdo con los criterios utilizados. De los 31 documentos, los mayores porcentajes de casos se concentraron en Asia y Norteamérica, con China y Estados Unidos como los principales contribuyentes (**Figura 3.5a,b**). La mayoría de investigaciones evidenciaron el estudio de las IVAs desde el análisis hidráulico, con énfasis en el desempeño de los sistemas pluviales urbanos e infraestructura verdi-azul ante escenarios de lluvia. Varios estudios destacaron también el uso de marcos de optimización multiobjetivo con el algoritmo NSGA-II, combinando análisis hidráulico en herramientas como SWMM y MIKE URBAN, análisis de datos de cambio climático y evaluación de costo-beneficio mediante análisis de Costo de Ciclo de Vida (LCC) para el diseño

y evaluación de sistemas de infraestructura híbrida (verde-gris, verde-azul-gris) {Formatting Citation}. En menor cantidad se identificaron casos de estudio con enfoques desde el análisis geomático, social, de beneficios, e incertidumbre (**Tabla 3.2**). De los 31 documentos, el 87% correspondió a estudios pre-implementación, lo que indica que escasa literatura evidencia análisis de aplicaciones reales de IVA.

Figura 3.5

Porcentajes de casos de estudio de la aplicación de infraestructura verdi-azul para el control de inundaciones por continente



Nota. Localización de los casos de estudio incluidos en la revisión: 1. Distrito de Pudong, Shanghái, China; 2. Ningbo, provincia de Zhejiang, China; 3. Distrito de Yangpu, Shanghái, China; 4. Nueva Ciudad de Zhujiang, Guangzhou, China; 5. Punta de la Isla Hengli, distrito de Nansha, Guangzhou, China; 6. Distrito de Pudong, Shanghái, China; 7. Nueva Ciudad Occidental de Zhuhai, Guangdong, China; 8. Guangzhou, China; 9,10. Distrito de Hexi, Nankín, China; 11. Distrito de Doumen, Guangdong, China; 12. Shanghái, China; 13. Ciudad de Suzhou, China; 14. Sukhumvit, Bangkok, Tailandia; 15. Chittagong, Bangladés; 16. Distrito de Changban, Guangdong, China; 17. Aldea Makan, ciudad de Shenzhen, China; 18. Parque Isla Fuxing,

Shanghái, China; 19. Campus Industrial de Changban, Guangzhou, China; 20. Portland, Oregón, EE. UU.; 21. Campus Morningside de la Universidad de Columbia, Nueva York, EE. UU.; 22. Portland, Oregón, EE. UU.; 23. Sugar Land, Texas, EE. UU.; 24. Estuario de Breton Sound, Luisiana, EE. UU.; 25. Risvollan, ciudad de Trondheim, Noruega; 26. Augustenborg, Malmö, Suecia; 27. Oslo, Noruega; 28. Vancouver, Canadá; 29. Auckland, Nueva Zelanda; 30. Melbourne, Australia; 31. Rosario, Santa Fe, Argentina; 32. Montevideo, Uruguay.

En los casos de estudio revisados, la mayoría de soluciones aplicadas se centran en la disminución de escorrentías por lluvias, de manera que las celdas de biorretención, techos verdes, pavimentos permeables, jardines de lluvia y cosecha de aguas lluvias se identificaron como las infraestructuras más frecuentemente aplicadas (**Figura 3.6**), tanto de forma individual como en combinación, generalmente por el buen desempeño y relación costo-beneficio mostradas en los análisis. Por otro lado, también se mencionan enfoques para atenuación de mareas y marejadas, como la creación de humedales y restauración de crestas (Baustian et al., 2020).

Es importante destacar que, aunque no es explícita la mención de la influencia de las condiciones de estuario en la selección de estas infraestructuras, los estudios enfatizan en la consideración de parámetros de diseño locales, donde, por ejemplo, para las soluciones a nivel de suelo, niveles freáticos, tasas de infiltración y capacidad de carga, son relevantes (Tansar et al., 2023).

Un análisis de la relación del estudio con las dimensiones de la sostenibilidad reveló que la investigación se centra en la sostenibilidad ambiental y político-económica, siendo menos frecuentes los estudios que incluyen aspectos de las dimensiones sociales y culturales. Asimismo, los estudios se alinearon directamente con los ODS 6 (6.5, 6.b), 11 (11.b) y 13 (13.1) (**Tabla 3.2**).

Tabla 3.2

Resumen de la revisión sistemática de los 31 casos de estudio

Enfoque del estudio	Soluciones evaluadas/ investigadas	Sostenibilidad (dimensión, ODS y objetivo de los ODS)	Referencias
Análisis hidrológico-hidráulico	GS, RG, BR, PP, RWH, GR,	Ambiental ODS: 6, 11 Metas: 6.5, 6.b, 11.b	(Zhu & Chen, 2017) (Hu et al., 2017) (Yin et al., 2020) (Majidi et al., 2019)
Modelado hidrológico-hidráulico:			

- SWMM - PCSWMM - Flo-2D - SWMM + Cellular Automata Dual-DraInagE Simulation (CADDIES 2D) - MIKE URBAN - HYDRUS-1D - CADDIES 2D - Soil Conservation Service (SCS) model-Autodesk Método racional	BS, VS, TP, CGL		(Akter et al., 2020) (S. Li et al., 2024) (Zhang et al., 2021) (H.-W. Wang et al., 2019) (Hakimdavar et al., 2014) (Webber et al., 2020) (Hu et al., 2019) (Du et al., 2019) (Zimmermann et al., 2016)
Optimización multiobjetivo			
Modelado hidrológico-hidráulico: SWMM Análisis climático: Modelo Climático Global (GCM) Algoritmo de optimización: - NSGA-II - MATLAB (Graph-theory based algorithm & Genetic algorithm) - Generalized Differential Evolution (GDE3) algorithm Análisis costo-beneficio: LCC, funciones profundidad/daño	BR, GR, PP, RG, GS, RWH, IT	Ambiental, Político-Económico ODS: 6, 11, 13 Metas: 6.5, 6.b, 11.b, 13.1	(Tansar et al., 2023) (Qi, et al., 2023) (Wang et al., 2023a) (Wang et al., 2023b) (Leng et al., 2021) (Wang et al., 2022) (Alves et al., 2016)
Análisis conceptual Políticas y contexto histórico	Diques de roca y redes de canales	Ambiental, Cultural ODS: 6, 11 Metas: 6.5, 6.b, 11.b	(Tang et al., 2018)
Análisis geomático Cálculo de pendientes de techos urbanos	GR, RWH	Ambiental, Político-Económico ODS: 6, 11, 13 Metas: 6.5, 6.b, 11.b, 13.1	(Cristiano et al., 2023)
Análisis geomático + hidrológico-hidráulico + costo-beneficio GIS and Remote Sensing integration: ArcGIS Modelado hidrológico-hidráulico: MIKE URBAN Análisis costo-beneficio: LCC	GR, BR, RB, VS	Ambiental, Político-Económico ODS: 6, 11, 13 Metas: 6.5, 6.b, 11.b, 13.1	(Xie et al., 2017)
Análisis social + hidrológico-ambiental	Creación de marismas y	Ambiental, Social ODS: 6, 11	(Baustian et al., 2020)

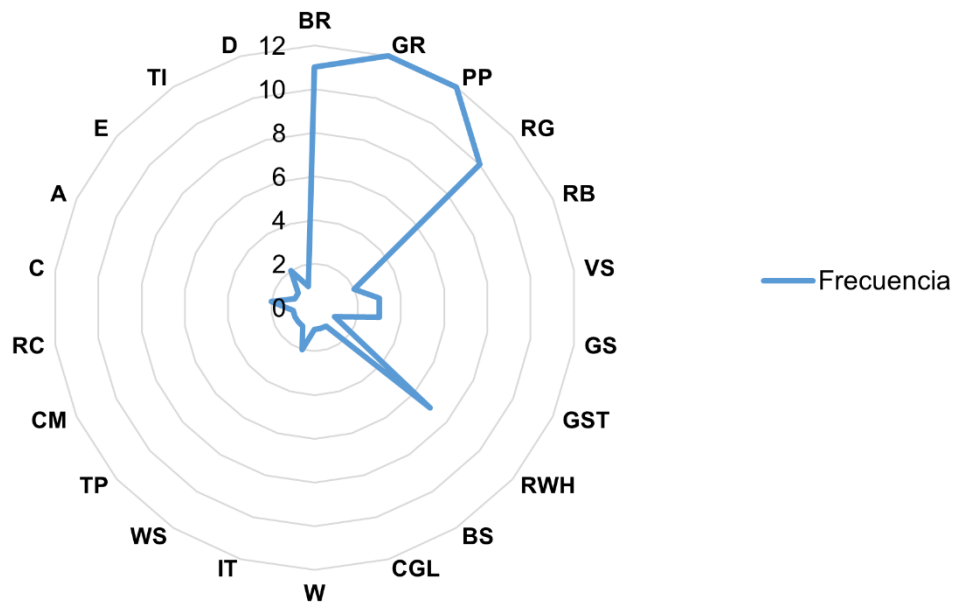
Análisis social: reuniones de grupos de competencia. Modelado ecosistémico-ambiental: Delft3D y SWAN (Simulating Waves Nearshore)	restauración de crestas	Metas: 6.5, 6.b, 11.b	
Análisis empírico Datos de seguros y precipitaciones extremas	VS, canales, arroyos, estanques y tierras inundables	Ambiental, Político-Económico, Social ODS: 6, 11 Metas: 6.5, 6.b, 11.b	(Sörensen & Emilsson, 2019)
Análisis hidrológico-hidráulico + beneficios ambientales			
Cuantificación de la reducción de escorrentías y los beneficios asociados de la infraestructura verde: Green Values National Stormwater Calculator	No especifica	Ambiental ODS: 6, 11 Metas: 6.5, 6.b, 11.b	(Thiagarajan et al., 2018)
Análisis hidrológico-hidráulico + climático			
Modelado hidrológico-hidráulico: PCSWMM Análisis de sensibilidad: metodología GLUE Factores del cambio climático	BR, GR, PP, RG, PV	Ambiental SDG: 6, 11 Metas: 6.5, 6.b, 11.b	(Tansar et al., 2022)
Análisis hidrológico-hidráulico + costo-beneficio	GS, GR	Ambiental, Político-Económico, Social ODS: 6, 11 Metas: 6.5, 6.b, 11.b	(Luan et al., 2019)
Modelado hidrológico-hidráulico: SWMM			
Evaluación de Beneficios Múltiples:			
Análisis de incertidumbres: entrevistas semiestructuradas y enfoque de Relevant Dominant Uncertainty (RDU) Rendimiento y mantenimiento de la infraestructura: modelo hidráulico, sedimentario y morfodinámico 2D Análisis de contaminantes: muestreo de sedimentos y análisis de metales pesados,	No especifica	Ambiental ODS: 6, 11 Metas: 6.5, 6.b, 11.b	(O'Donnell et al., 2020b)

Análisis geomático: distribución espacial de beneficios. Modelado hidrológico- hidráulico: SWMM			
Análisis climático + hidrológico-hidráulico + beneficios + costo-beneficio			
Análisis climático: precipitaciones históricas y proyecciones de cambio climático Modelado hidrológico- hidráulico: SWMM Análisis de beneficios: reducción combinada de desbordamientos de alcantarillado (evaluación cualitativa), prevención de daños por inundaciones (modelo SIMWE) Análisis costo- beneficio: relación costo/beneficio	W, GR, RG, RB, IT, WS, and separate sewage system.	Ambiental, Político- Económico ODS: 6, 11, 13 Metas: 6.5, 6.b, 11.b, 13.1	(Wilbers et al., 2022)
Análisis de incertidumbres	GST, GR, tierras inundables	Ambiental, Político- Económico, Social ODS: 6, 11 Metas: 6.5, 6.b, 11.b	(Thorne et al., 2018)
Relevant Dominant Uncertainty (RDU)			

Nota. Espacios verdes (GS), jardín de lluvia (RG), celda de biorretención (BR), pavimento permeable (PP), cosecha de aguas lluvias (RWH), techo verde (GR), biozanja (BS), zanja vegetativa (VS), alcorques (TP), tierra verde cóncava (CGL), calle verde (GST), W (wadis), barril/cisterna de lluvia (RB), zanjas de infiltración (IT), plazas de agua (WS).

Figura 3.6

Frecuencia de las IVAs aplicadas en los casos de estudios en zonas estuarinas



Nota. Celda de biorretención (BR), techo verde (GR), pavimento permeable (PP), jardín de lluvia (RG), barril/cisterna de lluvia (RB), zanja vegetativa (VS), espacios verdes (GS), calle verde (GST), cosecha de aguas lluvias (RWH), biozanja (BS), tierra verde cóncava (CGL), W (wadis), zanjas de infiltración (IT), plazas de agua (WS), alcorques (TP), creación de marismas (CM), restauración de crestas (RC), canales-redes de canales (C), arroyos (A), estanques (E), tierras inundables (TI), diques (D).

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Tras el análisis bibliométrico de las IVAs aplicadas a la mitigación de inundaciones urbanas y su focalización mediante una revisión sistemática en contextos estuarinos, se obtuvieron las siguientes conclusiones clave:

- La investigación científica en relación con la aplicación de las IVAs en el control de inundaciones urbanas evidenció un crecimiento exponencial, con un auge productivo entre 2019 y 2024 (81.39% del total), como resultado de la influencia de agendas nacionales y globales de resiliencia climática. Tanto países desarrollados como en desarrollo mostraron contribución a la temática, con mayor presencia de China (41%), Estados Unidos (13%), e India (10%), especialmente por sus programas nacionales y estrategias encaminadas a la gestión integrada del agua y resiliencia urbana. La evolución de la IVA ha pasado de enfocarse puntualmente en el diseño, a convertirse en una estrategia de planificación urbana, bajo enfoques holísticos y con beneficios sociales, ambientales y económicos. La concentración de publicaciones en revistas de alto impacto y de múltiples áreas demuestran un abordaje multidisciplinar de la temática, así como la consolidación de este campo de investigación y su creciente importancia en la comunidad científica.

- El análisis reveló cinco grupos de investigación principales que estructuran la producción de conocimiento en este campo: modelación de inundaciones, adaptación al cambio climático, soluciones para la gestión de inundaciones, evaluación técnico-económica, y planificación integral. Mientras que, las tendencias de investigación apuntan a temas como cambio climático, infraestructura verdi-gris, optimización y resiliencia, direccionado a una planificación de soluciones más efectivas y eficientes frente a inundaciones.

- La revisión sistemática sobre casos de aplicaciones de IVA para el control de inundaciones en zonas urbano-estuarinas, mostró principal foco de investigación en Asia, con una

representación limitada de América, Europa y Oceanía. Celdas de biorretención, techos verdes, pavimentos permeables, jardines de lluvia y cosecha de aguas lluvias se identificaron como las infraestructuras aplicadas con mayor frecuencia en estos contextos, indicando que los estudios se enfocan principalmente en el manejo pluvial. También, es importante destacar la relevancia de estos estudios para las dimensiones de sostenibilidad ambiental, política y económica, en consonancia con las metas establecidas en los ODS, en particular las metas 6.5, 6.b, 11.b y 13.1.

Este estudio constituye una actualización del desarrollo y la evolución científica del estudio de las IVAs aplicadas a la mitigación de inundaciones urbanas a nivel global y ofrece una visión a nivel geográfico de las soluciones aplicadas en zonas de estuario, proveyendo información útil para los tomadores de decisiones y gestores institucionales en la construcción de estrategias efectivas de mitigación de inundaciones en ciudades con este tipo de ambientes.

4.2 Recomendaciones

Culminada la investigación propuesta, se dan algunas recomendaciones que pueden fortalecer y proponer enfoques para futuros estudios.

- La limitación de esta investigación a la consideración de publicaciones relacionadas a dos únicas bases de datos (Scopus y WoS), puede excluir estudios relevantes no indexados a éstas, por lo que, estudios posteriores pueden ampliar la búsqueda complementando el análisis con bases adicionales como *Dimensions*, *JSTOR*, y *Google Scholar*. Así mismo, puede enriquecer el estudio, la consideración de bases de datos de regiones hispanohablantes (por ejemplo, Scielo, Dialnet, Redalyc) y tesis, que suelen ser el foco de publicación de investigaciones o avances de investigación de estos sectores.
- Investigaciones futuras pueden combinar literatura de acceso abierto con literatura de pago, con el fin de ampliar la cobertura de la investigación y mejorar la exhaustividad del análisis.

- Los resultados obtenidos en este estudio sobre el uso de la infraestructura verdi-azul para la mitigación de inundaciones urbanas ofrecen una guía para la planificación territorial y sostenibilidad industrial-operativa que puede ser extrapolada a diversas áreas de interés. En zonas de explotación petrolera, por ejemplo, donde las lluvias e inundaciones pueden afectar especialmente las actividades de producción, transporte y almacenamiento, el uso de infraestructura verdi-azul puede ser clave para la disminución del exceso de escorrentías y erosión del terreno, muchas veces causantes de la paralización de actividades de bombeo y desastres como roturas de oleoductos, riesgo de derrames y arrastre de contaminantes. Lo que hace importante que los planes de manejo ambiental de la industria del petróleo fortalezcan su resiliencia y sostenibilidad con la integración de este tipo de soluciones.

Referencias

- Acosta, A. Z., Solórzano, J., & Carrión-Mero, P. (2025). Inhibitors for Corrosion by H₂S and the Effects on Oil Pipelines: Bibliometric Analysis. *International Journal of Energy Production and Management*, 10(1), 153–164. <https://doi.org/10.18280/ijepm.100115>
- Aghaloo, K., Sharifi, A., Habibzadeh, N., Ali, T., & Chiu, Y.-R. (2024). How nature-based solutions can enhance urban resilience to flooding and climate change and provide other co-benefits: A systematic review and taxonomy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 95, 128320. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128320>
- Akter, A., Tanim, A. H., & Islam, M. K. (2020). Possibilities of urban flood reduction through distributed-scale rainwater harvesting. *Water Science and Engineering*, 13(2), 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2020.06.001>
- Alves, A., Gersonius, B., Kapelan, Z., Vojinovic, Z., & Sanchez, A. (2019). Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management. *Journal of Environmental Management*, 239, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.036>
- Alves, A., Sanchez, A., Vojinovic, Z., Seyoum, S., Babel, M., & Brdjanovic, D. (2016). Evolutionary and Holistic Assessment of Green-Grey Infrastructure for CSO Reduction. *Water*, 8(9), 402. <https://doi.org/10.3390/w8090402>
- Alves, A., Vojinovic, Z., Kapelan, Z., Sanchez, A., & Gersonius, B. (2020). Exploring trade-offs among the multiple benefits of green-blue-grey infrastructure for urban flood mitigation. *Science of The Total Environment*, 703, 134980. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134980>
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>
- Bartesaghi Koc, C., Osmond, P., & Peters, A. (2017). Towards a comprehensive green infrastructure typology: a systematic review of approaches, methods and typologies. *Urban Ecosystems*, 20(1), 15–35. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0578-5>
- Baustian, M. M., Jung, H., Bienn, H. C., Barra, M., Hemmerling, S. A., Wang, Y., White, E., & Meselhe, E. (2020). Engaging coastal community members about natural and nature-based solutions to assess their ecosystem function. *Ecological Engineering*, 143, 100015. <https://doi.org/10.1016/j.ecoena.2019.100015>
- Berrezueta, E., Kovács, T., Herrera-Franco, G., Caicedo-Potosí, J., Jaya-Montalvo, M., Ordóñez-

- Casado, B., Carrión-Mero, P., & Carneiro, J. (2024). Laboratory Studies on Underground H₂ Storage: Bibliometric Analysis and Review of Current Knowledge. *Applied Sciences*, 14(23), 11286. <https://doi.org/10.3390/app142311286>
- Berrezueta, E., Sánchez-Cortez, J. L., & Aguilar-Aguilar, M. (2021). Inventory and Characterization of Geosites in Ecuador: a Review. *Geoheritage*, 13(4), 93. <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00619-y>
- Bhusal, A., Thakur, B., Kalra, A., Benjankar, R., & Shrestha, A. (2024). Evaluating the Effectiveness of Best Management Practices in Adapting the Impacts of Climate Change-Induced Urban Flooding. *Atmosphere*, 15(3), 281. <https://doi.org/10.3390/atmos15030281>
- Biden, J. (2021). Fact Sheet: The Bipartisan Infrastructure Deal. In *The White House*. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/11/06/fact-sheet-the-bipartisan-infrastructure-deal/>
- Briones-Bitar, J., Pacheco-Bautista, L., Morante-Carballo, F., Berrezueta, E., & Carrión-Mero, P. (2025a). A Systematic Review of Occupational Health and Safety to Prevent Fall Accidents in Civil Works. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 15(4), 819–833. <https://doi.org/10.18280/ijssse.150418>
- Briones-Bitar, J., Pinto-Ponce, B., Caicedo-Potosí, J., Santos-Baquerizo, E., Carrión-Mero, P., & Morante-Carballo, F. (2025b). Evolution of Smart Buildings: A Bibliometric Analysis and Systematic Review. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 20(4). <https://doi.org/10.18280/ijstdp.200403>
- Carpenter, D. D., & Kaluvakolanu, P. (2011). Effect of Roof Surface Type on Storm-Water Runoff from Full-Scale Roofs in a Temperate Climate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(3), 161–169. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000185](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000185)
- Carrión-Mero, P., Brito-Matamoros, R., Jaya-Montalvo, M., Morante-Carballo, F., Berrezueta, E., & Velastegui-Montoya, A. (2024a). Bibliometric Analysis of the Effects of Aquaculture on Mangrove Forests. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 19(6), 2023–2039. <https://doi.org/10.18280/ijdne.190619>
- Carrión-Mero, P., Malavé-Hernández, J., Solórzano, J., Martínez-Angulo, J., & Morante-Carballo, F. (2024b). A Systematic Review of Groundwater Management Applied to Rural Development. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 19(9), 3377–3391. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.190909>
- Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y.-T., Xu, Y., & Thorne, C. R. (2018). “Sponge City” in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land Use Policy*, 76, 772–778.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005>

- Chandel, S. S., Shrivastva, R., Sharma, V., & Ramasamy, P. (2016). Overview of the initiatives in renewable energy sector under the national action plan on climate change in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 866–873. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.057>
- Chauhan, S., Dongol, R., & Chauhan, R. (2023). Evaluation of economic loss of urban road flooding: A case of Kathmandu Metropolitan City. *Environmental Challenges*, 13, 100773. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100773>
- Chen, W., Wang, W., Huang, G., Wang, Z., Lai, C., & Yang, Z. (2021). The capacity of grey infrastructure in urban flood management: A comprehensive analysis of grey infrastructure and the green-grey approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 54, 102045. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102045>
- Chikhi, F., Li, C., Ji, Q., & Zhou, X. (2023). Review of Sponge City implementation in China: performance and policy. *Water Science & Technology*. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.312>
- Chini, C., Canning, J., Schreiber, K., Peschel, J., & Stillwell, A. (2017). The Green Experiment: Cities, Green Stormwater Infrastructure, and Sustainability. *Sustainability*, 9(1), 105. <https://doi.org/10.3390/su9010105>
- Costa, S., Peters, R., Martins, R., Postmes, L., Keizer, J. J., & Roebeling, P. (2021). Effectiveness of Nature-Based Solutions on Pluvial Flood Hazard Mitigation: The Case Study of the City of Eindhoven (The Netherlands). *Resources*, 10(3), 24. <https://doi.org/10.3390/resources10030024>
- Cristiano, E., Farris, S., Deidda, R., & Viola, F. (2023). How much green roofs and rainwater harvesting systems can contribute to urban flood mitigation? *Urban Water Journal*, 20(2), 140–157. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2022.2155849>
- D'Ambrosio, R., Longobardi, A., & Schmalz, B. (2023). SuDS as a climate change adaptation strategy: Scenario-based analysis for an urban catchment in northern Italy. *Urban Climate*, 51, 101596. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101596>
- Dhanya, B., Ramananda, S., & Dhyani, S. (2022). Mainstreaming Blue-Green Infrastructure in Policy and Planning for Urban Resilience in the Global South: Promises and Pitfalls. In *Blue-Green Infrastructure Across Asian Countries* (pp. 499–518). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7128-9_23
- Dharmarathne, G., Waduge, A. O., Bogahawaththa, M., Rathnayake, U., & Meddage, D. P. P. (2024). Adapting cities to the surge: A comprehensive review of climate-induced urban flooding. *Results in Engineering*, 22, 102123. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102123>
- Dietz, M. E., & Clausen, J. C. (2008). Stormwater runoff and export changes with development in

- a traditional and low impact subdivision. *Journal of Environmental Management*, 87(4), 560–566. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.026>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Du, S., Wang, C., Shen, J., Wen, J., Gao, J., Wu, J., Lin, W., & Xu, H. (2019). Mapping the capacity of concave green land in mitigating urban pluvial floods and its beneficiaries. *Sustainable Cities and Society*, 44, 774–782. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.003>
- Escandón-Panchana, P., Martínez-Cuevas, S., Jaya-Montalvo, M., & Herrera-Franco, G. (2024). Review of agricultural cadastre approaches using geomatics for rural development. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 465–478. <https://doi.org/10.2495/SDP240391>
- Esraz-Ul-Zannat, M., Dedekorkut-Howes, A., & Morgan, E. A. (2024). A review of nature-based infrastructures and their effectiveness for urban flood risk mitigation. *WIREs Climate Change*, 15(5). <https://doi.org/10.1002/wcc.889>
- Ghofrani, Z., Sposito, V., & Faggian, R. (2017). *A comprehensive review of blue-green infrastructure concepts*. https://dro.deakin.edu.au/articles/journal_contribution/A_comprehensive_review_of_blue-green_infrastructure_concepts/20793736
- Haase, D. (2017). Urban Wetlands and Riparian Forests as a Nature-Based Solution for Climate Change Adaptation in Cities and Their Surroundings. In A. Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn (Ed.), *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions* (pp. 111–121). https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_7
- Hakimdavar, R., Culligan, P. J., Finazzi, M., Barontini, S., & Ranzi, R. (2014). Scale dynamics of extensive green roofs: Quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modeled green roof hydrologic performance. *Ecological Engineering*, 73, 494–508. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.080>
- Hammond, M. J., Chen, A. S., Djordjević, S., Butler, D., & Mark, O. (2015). Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review. *Urban Water Journal*, 12(1), 14–29. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.857421>
- Herrera-Franco, G., Fornés, J. M., Bravo-Montero, Lady, Montalván, F. J., & Carrión-Mero, P. (2025a). Water governance PESTEL/SWOT-TOWS analysis in the Andean Community of Nations (ACN). *Environmental Challenges*, 20, 101249.

<https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101249>

- Herrera-Franco, G., Merchán-Sanmartín, B., Caicedo-Potosí, J., Bitar, J. B., Berrezueta, E., & Carrión-Mero, P. (2024). A systematic review of coastal zone integrated waste management for sustainability strategies. *Environmental Research*, 245, 117968. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117968>
- Herrera-Franco, G., Peña-Villacreses, G., & Bravo-Montero, Lady. (2025b). Women's participation in the research development of a country. *International Journal of Educational Research Open*, 8, 100413. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2024.100413>
- Herrera-Franco, G., Sánchez-Arizo, V., Escandón-Panchana, P., Caicedo-Potosí, J., Jaya-Montalvo, M., & Zambrano-Mendoza, J. (2023). Analysis of Scientific Contributions to Agricultural Development and Food Security in Ecuador. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 18(5), 1129–1139. <https://doi.org/10.18280/ijdne.180514>
- Hu, M., Sayama, T., Zhang, X., Tanaka, K., Takara, K., & Yang, H. (2017). Evaluation of low impact development approach for mitigating flood inundation at a watershed scale in China. *Journal of Environmental Management*, 193, 430–438. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.020>
- Hu, M., Zhang, X., Li, Y., Yang, H., & Tanaka, K. (2019). Flood mitigation performance of low impact development technologies under different storms for retrofitting an urbanized area. *Journal of Cleaner Production*, 222, 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.044>
- Jia, H., Wang, Z., Zhen, X., Clar, M., & Yu, S. L. (2017). China's sponge city construction: A discussion on technical approaches. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(4), 18. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0984-9>
- Lamond, J., & Everett, G. (2019). Sustainable Blue-Green Infrastructure: A social practice approach to understanding community preferences and stewardship. *Landscape and Urban Planning*, 191, 103639. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103639>
- Lawson, E., Thorne, C., Ahilan, S., Allen, D., Arthur, S., Everett, G., Fenner, R., Glenis, V., Guan, D., Hoang, L., Kilsby, C., Lamond, J., Mant, J., Maskrey, S., Mount, N., Sleight, A., Smith, L., & Wright, N. (2014). Delivering and evaluating the multiple flood risk benefits in Blue-Green Cities: an interdisciplinary approach. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 113–124. <https://doi.org/10.2495/FRIAR140101>
- Lee, J., Perera, D., Glickman, T., & Taing, L. (2020). Water-related disasters and their health impacts: A global review. *Progress in Disaster Science*, 8, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2020.100123>
- Leng, L., Jia, H., Chen, A. S., Zhu, D. Z., Xu, T., & Yu, S. (2021). Multi-objective optimization

- for green-grey infrastructures in response to external uncertainties. *Science of The Total Environment*, 775, 145831. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145831>
- Li, F., Liu, X., Zhang, X., Zhao, D., Liu, H., Zhou, C., & Wang, R. (2017). Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. *Journal of Cleaner Production*, 163, S12–S18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.079>
- Li, Q., Wang, F., Yu, Y., Huang, Z., Li, M., & Guan, Y. (2019). Comprehensive performance evaluation of LID practices for the sponge city construction: A case study in Guangxi, China. *Journal of Environmental Management*, 231, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.024>
- Li, S., Leitão, J. P., Wang, Z., & Bach, P. M. (2024). A drainage network-based impact matrix to support targeted blue-green-grey stormwater management solutions. *Science of The Total Environment*, 912, 168623. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168623>
- Liao, H., Tang, M., Luo, L., Li, C., Chiclana, F., & Zeng, X.-J. (2018). A Bibliometric Analysis and Visualization of Medical Big Data Research. *Sustainability*, 10(1), 166. <https://doi.org/10.3390/su10010166>
- Luan, B., Yin, R., Xu, P., Wang, X., Yang, X., Zhang, L., & Tang, X. (2019). Evaluating Green Stormwater Infrastructure strategies efficiencies in a rapidly urbanizing catchment using SWMM-based TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 223, 680–691. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.028>
- Lyddon, C., Chien, N., Vasilopoulos, G., Ridgill, M., Moradian, S., Olbert, A., Coulthard, T., Barkwith, A., & Robins, P. (2024). Thresholds for estuarine compound flooding using a combined hydrodynamic–statistical modelling approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 24(3), 973–997. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-973-2024>
- Majidi, A. N., Vojinovic, Z., Alves, A., Weesakul, S., Sanchez, A., Boogaard, F., & Kluck, J. (2019). Planning Nature-Based Solutions for Urban Flood Reduction and Thermal Comfort Enhancement. *Sustainability*, 11(22), 6361. <https://doi.org/10.3390/su11226361>
- Malaviya, P., Sharma, R., & Sharma, P. K. (2019). Rain Gardens as Stormwater Management Tool. In *Sustainable Green Technologies for Environmental Management* (pp. 141–166). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2772-8_7
- Manandhar, B., Cui, S., Wang, L., & Shrestha, S. (2023). Urban Flood Hazard Assessment and Management Practices in South Asia: A Review. *Land*, 12(3), 627. <https://doi.org/10.3390/land12030627>
- Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2013). Revisiones sistemáticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Cirugía Española*, 91(3), 149–155.

<https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2011.07.009>

- Marco, J. B., & Cayuela, A. (1994). Urban flooding: the flood-planned city concept. In *Coping with Floods* (pp. 705–721). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1098-3_43
- Masaquiza, W., Aguilar-Aguilar, M., Solórzano, J., & Carrión-Mero, P. (2023). Systematic review of the management of CO₂ capture and storage as a contribution to greenhouse gas reduction. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 255–266. <https://doi.org/10.2495/ESUS230221>
- Matandirotya, N. R. (2021). Research trends in the field of ambient air quality monitoring and management in South Africa: A bibliometric review. *Environmental Challenges*, 5, 100263. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100263>
- McNabb, T., Charters, F. J., Challies, E., & Dionisio, R. (2024). Unlocking urban blue-green infrastructure: an interdisciplinary literature review analysing co-benefits and synergies between bio-physical and socio-cultural outcomes. *Blue-Green Systems*, 6(2), 217–231. <https://doi.org/10.2166/bgs.2024.007>
- Mei, C., Liu, J., Wang, H., Yang, Z., Ding, X., & Shao, W. (2018). Integrated assessments of green infrastructure for flood mitigation to support robust decision-making for sponge city construction in an urbanized watershed. *Science of The Total Environment*, 639, 1394–1407. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.199>
- Mell, I., & Scott, A. (2023). Definitions and context of blue-green infrastructure. In *ICE Manual of Blue-Green Infrastructure* (p. 20). ICE Publisher. <https://doi.org/10.1680/icembgi.65420.003>
- Mondal, A., & Garg, R. D. (2025). Assessing the role of sustainable water bodies in urban drainage systems to mitigate urban flooding: A case study of Gurgaon, Haryana, India. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 137, 103803. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103803>
- Monteiro, R., & Ferreira, J. C. (2020). Green Infrastructure Planning as a Climate Change and Risk Adaptation Tool in Coastal Urban Areas. *Journal of Coastal Research*, 95(sp1), 889. <https://doi.org/10.2112/SI95-173.1>
- Morante-Carballo, F., Arcentales-Rosado, M., Caicedo-Potosí, J., & Carrión-Mero, P. (2025). Artificial intelligence applications in hydrological studies and ecological restoration of watersheds: A systematic review. *Watershed Ecology and the Environment*, 7, 230–248. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2025.05.004>
- Morante-Carballo, F., Montalván-Burbano, N., Arias-Hidalgo, M., Domínguez-Granda, L., Apolo-Masache, B., & Carrión-Mero, P. (2022). Flood Models: An Exploratory Analysis and

- Research Trends. *Water*, 14(16), 2488. <https://doi.org/10.3390/w14162488>
- Morante-Carballo, F., Pinto-Ponce, B., Santos-Baquerizo, E., Briones-Bitar, J., Berrezueta, E., & Carrión-Mero, P. (2024). Systematic Review on Seismic Hazards in the Coastal Regions of the Pacific Ring of Fire. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 14(5), 1591–1605. <https://doi.org/10.18280/ijssse.140526>
- Mugume, S. N., & Nakyanzi, L. P. (2024). Evaluation of effectiveness of Blue-Green Infrastructure for reduction of pluvial flooding under climate change and internal system failure conditions. *Blue-Green Systems*, 6(2), 264–292. <https://doi.org/10.2166/bgs.2024.030>
- O'Donnell, E., Thorne, C., Ahilan, S., Arthur, S., Birkinshaw, S., Butler, D., Dawson, D., Everett, G., Fenner, R., Glenis, V., Kapetas, L., Kilsby, C., Krivtsov, V., Lamond, J., Maskrey, S., O'Donnell, G., Potter, K., Vercruysse, K., Vilcan, T., & Wright, N. (2020a). The blue-green path to urban flood resilience. *Blue-Green Systems*, 2(1), 28–45. <https://doi.org/10.2166/bgs.2019.199>
- O'Donnell, E., Thorne, C., Yeakley, J. A., & Chan, F. K. S. (2020b). Sustainable Flood Risk and Stormwater Management in Blue-Green Cities; an Interdisciplinary Case Study in Portland, Oregon. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 56(5), 757–775. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12854>
- Ortega Sandoval, A. D., Sörensen, J., Rodríguez, J. P., & Bharati, L. (2023). Hydrologic–hydraulic assessment of SUDS control capacity using different modeling approaches: a case study in Bogotá, Colombia. *Water Science & Technology*, 87(12), 3124–3145. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.173>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2021.105906>
- Polo-Martín, B. (2025). The Potential of Blue–Green Infrastructures (BGIs) to Boost Urban Resilience: Examples from Spain. *Urban Science*, 9(4), 102. <https://doi.org/10.3390/urbansci9040102>
- Pour, S. H., Wahab, A. K. A., Shahid, S., Asaduzzaman, M., & Dewan, A. (2020). Low impact development techniques to mitigate the impacts of climate-change-induced urban floods: Current trends, issues and challenges. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102373. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102373>

- Pranckutė, R. (2021). Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World. *Publications*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.3390/publications9010012>
- Qin, H., Li, Z., & Fu, G. (2013). The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *Journal of Environmental Management*, 129, 577–585. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.026>
- Qin, Y. (2020). Urban Flooding Mitigation Techniques: A Systematic Review and Future Studies. *Water*, 12(12), 3579. <https://doi.org/10.3390/w12123579>
- Quagliolo, C., Comino, E., & Pezzoli, A. (2021). *Nature-based Simulation to Address Climate Change-Related Flooding. Preliminary Insights on a Small-Sized Italian City* (pp. 544–553). https://doi.org/10.1007/978-3-030-87007-2_39
- Quichimbo-Miguitama, F., Matamoros, D., Jiménez, L., & Quichimbo-Miguitama, P. (2022). Influence of Low-Impact Development in Flood Control: A Case Study of the Febres Cordero Stormwater System of Guayaquil (Ecuador). *Sustainability*, 14(12), 7109. <https://doi.org/10.3390/su14127109>
- Radu, G., Chevereșan, M. I., Perju, S., & Bărbulescu, A. (2025). Integrating Nature-Based Solutions for Increased Resilience to Urban Flooding in the Climate Change Context. *Hydrology*, 12(1), 16. <https://doi.org/10.3390/hydrology12010016>
- Rahimi, R., Tavakol-Davani, H., Graves, C., Gomez, A., & Fazel Valipour, M. (2020). Compound Inundation Impacts of Coastal Climate Change: Sea-Level Rise, Groundwater Rise, and Coastal Precipitation. *Water*, 12(10), 2776. <https://doi.org/10.3390/w12102776>
- Ramos, H. M., & Besharat, M. (2021). Urban Flood Risk and Economic Viability Analyses of a Smart Sustainable Drainage System. *Sustainability*, 13(24), 13889. <https://doi.org/10.3390/su132413889>
- Razzaghamanesh, M., & Beecham, S. (2014). The hydrological behaviour of extensive and intensive green roofs in a dry climate. *Science of The Total Environment*, 499, 284–296. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.046>
- Rodríguez-Zurita, D., Jaya-Montalvo, M., Moreira-Arboleda, J., Raya-Diez, E., & Carrión-Mero, P. (2025b). Sustainable development through service learning and community engagement in higher education: a systematic literature review. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 26(1), 158–201. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2023-0461>
- Rodríguez-Zurita, D., Juaneda-Ayensa, E., Jaya-Montalvo, M., Retamales-García, L., & Carrión-Mero, P. (2025a). An institutional framework for education for sustainable development through service-learning in universities. *International Journal of Sustainability in Higher*

- Education*. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2024-0452>
- Rogers, G., Szomszor, M., & Adams, J. (2020). Sample size in bibliometric analysis. *Scientometrics*, 125(1), 777–794. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03647-7>
- Samouei, S., & Özger, M. (2020). Evaluating the performance of low impact development practices in urban runoff mitigation through distributed and combined implementation. *Journal of Hydroinformatics*, 22(6), 1506–1520. <https://doi.org/10.2166/hydro.2020.054>
- Shariat, R., Roozbahani, A., & Ebrahimian, A. (2019). Risk analysis of urban stormwater infrastructure systems using fuzzy spatial multi-criteria decision making. *Science of The Total Environment*, 647, 1468–1477. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.074>
- Skrydstrup, J., Löwe, R., Gregersen, I. B., Koetse, M., Aerts, J. C. J. H., de Ruiter, M., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2022). Assessing the recreational value of small-scale nature-based solutions when planning urban flood adaptation. *Journal of Environmental Management*, 320, 115724. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115724>
- Solórzano, J., Sánchez-Zambrano, E., Aguilar-Aguilar, M., Ramírez-López, A., Ramos-Sánchez, E., Baque, M., & Carrión-Mero, P. (2024). A systematic review of geophysics applied in seawater intrusion research. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 631–643. <https://doi.org/10.2495/SDP240521>
- Sörensen, J., & Emilsson, T. (2019). Evaluating Flood Risk Reduction by Urban Blue-Green Infrastructure Using Insurance Data. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001037](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001037)
- Tang, Y., Chan, F. K. S., O'Donnell, E. C., Griffiths, J., Lau, L., Higgitt, D. L., & Thorne, C. R. (2018). Aligning ancient and modern approaches to sustainable urban water management in China: Ningbo as a “Blue-Green City” in the “Sponge City” campaign. *Journal of Flood Risk Management*, 11(4). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12451>
- Tansar, H., Duan, H.-F., & Mark, O. (2022). Catchment-Scale and Local-Scale Based Evaluation of LID Effectiveness on Urban Drainage System Performance. *Water Resources Management*, 36(2), 507–526. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-03036-6>
- Tansar, H., Duan, H.-F., & Mark, O. (2023). A multi-objective decision-making framework for implementing green-grey infrastructures to enhance urban drainage system resilience. *Journal of Hydrology*, 620, 129381. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129381>
- Thiagarajan, M., Newman, G., & Zandt, S. Van. (2018). The Projected Impact of a Neighborhood-Scaled Green-Infrastructure Retrofit. *Sustainability*, 10(10), 3665. <https://doi.org/10.3390/su10103665>
- Thorne, C. R., Lawson, E. C., Ozawa, C., Hamlin, S. L., & Smith, L. A. (2018). Overcoming

- uncertainty and barriers to adoption of Blue-Green Infrastructure for urban flood risk management. *Journal of Flood Risk Management*, 11(S2). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12218>
- United Nations. (2016). *Chapter 44. Estuaries and Deltas*. https://www.un.org/depts/los/global_reporting/WOA_RPROC/Chapter_44.pdf
- United Nations. (2018). *68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN*. <https://www.un.org/uk/desa/68-world-population-projected-live-urban-areas-2050-says-un>
- United Nations. (2021a). *SDG Goal 11: Sustainable Cities and Community*. Sustainable Development Goals. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>
- United Nations. (2021b). *SDG Goal 13: Climate Action*. Sustainable Development Goals. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change/>
- Vousdoukas, M. I., Mentaschi, L., Mongelli, I., Ciscar, J. C., Hinkel, J., Ward, P., Gosling, S., Feyen, L., & European Commission. Joint Research Centre. (2020). Adapting to rising coastal flood risk in the EU under climate change. *JRC PESETA IV Project – Task 6*, 30. <https://doi.org/10.2760/456870>
- Wang, H.-W., Zhai, Y.-J., Wei, Y.-Y., & Mao, Y.-F. (2019). Evaluation of the effects of low-impact development practices under different rainy types: case of Fuxing Island Park, Shanghai, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(7), 6706–6716. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04129-x>
- Wang, M., Liu, M., Zhang, D., Qi, J., Fu, W., Zhang, Y., Rao, Q., Bakhshipour, A. E., & Tan, S. K. (2023a). Assessing and optimizing the hydrological performance of Grey-Green infrastructure systems in response to climate change and non-stationary time series. *Water Research*, 232, 119720. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119720>
- Wang, M., Liu, M., Zhang, D., Zhang, Y., Su, J., Zhou, S., Bakhshipour, A. E., & Tan, S. K. (2023b). Assessing hydrological performance for optimized integrated grey-green infrastructure in response to climate change based on shared socio-economic pathways. *Sustainable Cities and Society*, 91, 104436. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104436>
- Wang, Z., Li, S., Wu, X., Lin, G., & Lai, C. (2022). Impact of spatial discretization resolution on the hydrological performance of layout optimization of LID practices. *Journal of Hydrology*, 612, 128113. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128113>
- Webber, J. L., Fletcher, T. D., Cunningham, L., Fu, G., Butler, D., & Burns, M. J. (2020). Is green infrastructure a viable strategy for managing urban surface water flooding? *Urban Water Journal*, 17(7), 598–608. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1700286>
- Wescoat Jr., J. L., & Rawoot, S. (2021). Blue-green urban infrastructure in Boston and Bombay

- (Mumbai): a macro-historical geographic comparison. *ZARCH*, 15, 36–51. https://doi.org/10.26754/ojs_zarch/zarch.2020154857
- Wilbers, G.-J., de Bruin, K., Seifert-Dähnn, I., Lekkerkerk, W., Li, H., & Budding-Polo Ballinas, M. (2022). Investing in Urban Blue–Green Infrastructure—Assessing the Costs and Benefits of Stormwater Management in a Peri-Urban Catchment in Oslo, Norway. *Sustainability*, 14(3), 1934. <https://doi.org/10.3390/su14031934>
- Xie, J., Chen, H., Liao, Z., Gu, X., Zhu, D., & Zhang, J. (2017). An integrated assessment of urban flooding mitigation strategies for robust decision making. *Environmental Modelling & Software*, 95, 143–155. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.027>
- Yereseme, A. K., Surendra, H. J., & Kuntoji, G. (2022). Sustainable integrated urban flood management strategies for planning of smart cities: a review. *Sustainable Water Resources Management*, 8(3), 85. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00666-5>
- Yin, D., Evans, B., Wang, Q., Chen, Z., Jia, H., Chen, A. S., Fu, G., Ahmad, S., & Leng, L. (2020). Integrated 1D and 2D model for better assessing runoff quantity control of low impact development facilities on community scale. *Science of The Total Environment*, 720, 137630. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137630>
- Zhang, Y., Xu, H., Liu, H., & Zhou, B. (2021). The Application of Low Impact Development Facility Chain on Storm Rainfall Control: A Case Study in Shenzhen, China. *Water*, 13(23), 3375. <https://doi.org/10.3390/w13233375>
- Zhang, Y., Yin, H., Liu, M., Kong, F., & Xu, J. (2025). Evaluating the effectiveness of environmental sustainability indicators in optimizing green-grey infrastructure for sustainable stormwater management. *Water Research*, 272, 122932. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122932>
- Zhu, Z., & Chen, X. (2017). Evaluating the Effects of Low Impact Development Practices on Urban Flooding under Different Rainfall Intensities. *Water*, 9(7), 548. <https://doi.org/10.3390/w9070548>
- Zimmermann, E., Bracalenti, L., Piacentini, R., & Inostroza, L. (2016). Urban Flood Risk Reduction by Increasing Green Areas for Adaptation to Climate Change. *Procedia Engineering*, 161, 2241–2246. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.822>