



DOI: <https://doi.org/10.70577/asce.v5i3.1093>

Recibido: 2026-07-03

Aceptado: 2026-07-23

Publicado: 2026-08-31

Eficiencia de los sistemas de gestión de aguas pluviales en la retención de microplásticos: una revisión sistemática

Efficiency of Stormwater Management Systems in Microplastic Retention: A Systematic Review

Autor(s)

Abelardo Melanio Barboza Mejía¹
Xbameal02@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7521-632X>
Universidad Nacional de Cajamarca
Cajamarca – Perú

Carlos Alberto Benites Castañeda²
cbenites@unca.edu.pe
<https://orcid.org/0009-0004-0791-0477>
Universidad Nacional Ciro Alegria
Huamachuco – Perú

Cynthia Medali Castillo Fernández³
medalidf@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-4172-9574>
Universidad Nacional Ciro Alegria
Huamachuco – Perú

Gean Carlos Ticlia Julca⁴
ticliajulcagean@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-1972-0958>
Universidad Nacional Ciro Alegria
Huamachuco – Perú

Luis Ángel Mozo Cruz⁵
ing.angelangel@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-6497-9200>
Universidad Nacional Autónoma de Chota
Cajamarca – Perú

Como Citar

Barboza Mejía , A. M., Benites Castañeda , C. A., Castillo Fernández, C. M., Ticlia Julca , G. C., & Mozo Cruz , L. Ángel. (2026). Eficiencia de los sistemas de gestión de aguas pluviales en la retención de microplásticos: una revisión sistemática. *ASCE MAGAZINE*, 5(3), 2524–2546. <https://doi.org/10.70577/asce.v5i3.1093>



Resumen

La creciente producción de plásticos a nivel global y su fragmentación en partículas de tamaño inferior a 5 mm han generado una preocupación creciente por la presencia de microplásticos en la escorrentía urbana, que actúa como principal vía de transporte de estos contaminantes hacia los ecosistemas acuáticos. La presente revisión sistemática tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de los sistemas de gestión de aguas pluviales en la retención de microplásticos a partir del análisis de la literatura científica publicada entre 2020 y 2025. Se aplicó el protocolo PRISMA con búsqueda en Scopus, Google Académico, SciELO y Redalyc, que permitió seleccionar 21 documentos para el análisis cualitativo. Los resultados evidenciaron que los pavimentos permeables alcanzan eficiencias entre el 88.8% y el 99.6%, los humedales artificiales entre el 97.42% y el 98.13%, y los sistemas de biorretención entre el 71% y el 84%, con mejoras superiores al 99% al incorporar biochar. Las partículas de tamaño inferior a 25 micrómetros y los fragmentos de morfología irregular constituyen las fracciones más difíciles de retener. Las principales barreras identificadas incluyen la ausencia de marcos legales vinculantes, la debilidad institucional y el desconocimiento técnico en países latinoamericanos. Se concluye que los sistemas de gestión de aguas pluviales constituyen una alternativa viable para la retención de microplásticos, aunque su implementación en contextos como el peruano requiere un enfoque multidimensional que considere las condiciones climáticas, la capacidad técnica local y los marcos institucionales para garantizar su efectividad a largo plazo.

Palabras clave: microplásticos, escorrentía urbana, sistemas de drenaje sostenible, pavimentos permeables, humedales artificiales, biorretención, gobernanza del agua.



Abstract

The increasing global production of plastics and their fragmentation into particles smaller than 5 mm have raised growing concern about the presence of microplastics in urban runoff, which acts as the main transport pathway of these pollutants to aquatic ecosystems. This systematic review aimed to evaluate the efficiency of stormwater management systems in microplastic retention based on the analysis of scientific literature published between 2020 and 2025. The PRISMA protocol was applied with searches in Scopus, Google Scholar, SciELO, and Redalyc, which allowed the selection of 21 documents for qualitative analysis. The results showed that permeable pavements achieve efficiencies between 88.8% and 99.6%, constructed wetlands between 97.42% and 98.13%, and bioretention systems between 71% and 84%, with improvements exceeding 99% when incorporating biochar. Particles smaller than 25 micrometers and fragments of irregular morphology constitute the most difficult fractions to retain. The main barriers identified include the absence of binding legal frameworks, institutional weakness, and technical ignorance in Latin American countries. It is concluded that stormwater management systems constitute a viable alternative for microplastic retention, although their implementation in contexts such as Peru requires a multidimensional approach that considers climatic conditions, local technical capacity, and institutional frameworks to guarantee their long-term effectiveness.

Keywords: microplastics, urban runoff, sustainable drainage systems, permeable pavements, constructed wetlands, bioretention, water governance.

Introducción

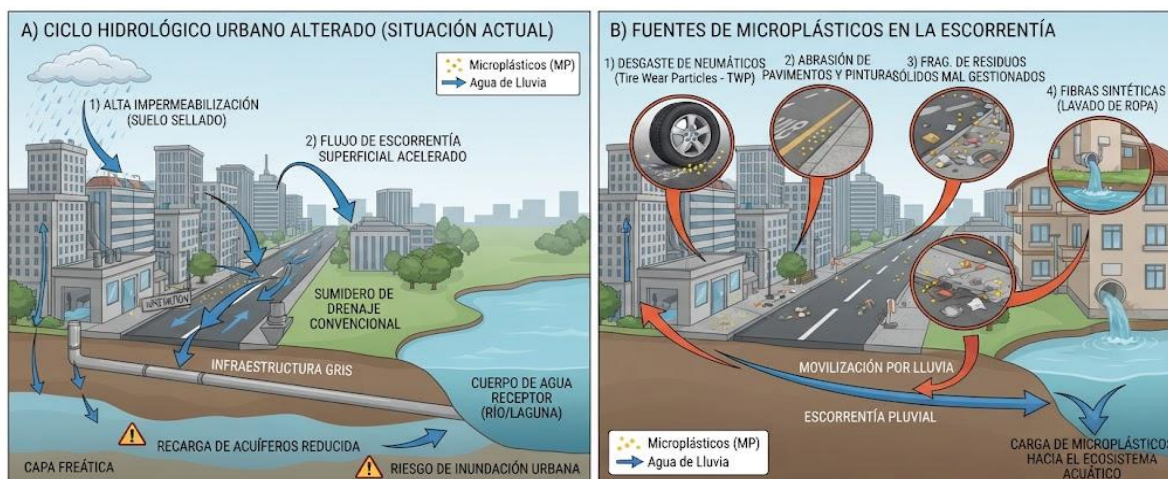
Los plásticos son materiales de uso ubicuo en la sociedad moderna debido a su versatilidad, durabilidad y bajo costo de producción. No obstante, su producción global alcanzó los 413.8 millones de toneladas en 2023, lo que evidencia un crecimiento exponencial que contrasta con la limitada capacidad de gestión de los residuos generados (Miranda, 2025; Canchari & Iannacone, 2022). El desfase entre producción y disposición final ha derivado en la acumulación masiva de desechos plásticos en diversos compartimentos ambientales. La fragmentación de estos residuos por acción de factores físicos, químicos y biológicos da lugar a partículas de tamaño inferior a 5 mm, denominadas microplásticos, cuya presencia se ha documentado como problemática (Calzadilla et al., 2025; Kwarciak & Madela, 2025).

Los microplásticos se clasifican en primarios, aquellos manufacturados intencionalmente con dimensiones microscópicas para su uso en productos cosméticos e industriales, y secundarios, que proceden de la degradación de objetos plásticos de mayor tamaño (Calzadilla et al., 2025; García et al., 2024). Las partículas secundarias, entre las que se incluyen las fibras sintéticas desprendidas durante el lavado de ropa y las partículas generadas por el desgaste de neumáticos, constituyen la fracción mayoritaria de los microplásticos presentes en entornos urbanos (Kwarciak & Madela, 2025). La escorrentía pluvial actúa como el principal agente movilizador de estos contaminantes desde las superficies impermeables hacia los cuerpos de agua receptores, transportando concentraciones que oscilan entre 0.9 y 200 partículas por litro (Smyth, 2024).

La escorrentía urbana arrastra microplásticos procedentes de diversas fuentes antrópicas, entre las que destacan el desgaste de neumáticos, la abrasión de pavimentos, la degradación de pinturas y revestimientos, y la fragmentación de residuos sólidos mal gestionados (Kwarciak & Madela, 2025; García et al., 2024). En el contexto peruano, la problemática adquiere relevancia debido a la carencia de sistemas de drenaje pluvial en la mayoría de los centros poblados y a la deficiente gestión de residuos sólidos en las zonas urbanas, lo que favorece el arrastre de plásticos hacia los cursos de agua superficiales. La evidencia muestra que la concentración de microplásticos en sedimentos de canales de riego es significativamente mayor en zonas cercanas a centros poblados, lo que confirma el rol de la escorrentía como fuente difusa de contaminación (Canchari & Iannacone, 2022).

Figura 1

Ciclo hidrológico urbano alterado por la impermeabilización del suelo y fuentes de microplásticos en la escorrentía.



Nota. La ilustración muestra de forma esquemática la alteración del ciclo hidrológico urbano por el sellado del suelo y las principales vías de aporte de microplásticos hacia los cuerpos de agua receptores a través de la escorrentía. Adaptado de García et al. (2022) y Kwarciak & Madela (2025).

A esta problemática se suma el acelerado proceso de urbanización que caracteriza a las ciudades contemporáneas, donde la impermeabilización del suelo interrumpe drásticamente el ciclo hidrológico natural (García et al., 2022; Barranco et al., 2024). La sustitución de superficies vegetadas por pavimentos y edificaciones reduce la capacidad de infiltración y evapotranspiración, al tiempo que incrementa el volumen y la velocidad de la escorrentía superficial (Cisterna et al., 2025; Lopardo et al., 2024). Dicho fenómeno, combinado con los efectos del cambio climático que intensifican la frecuencia de precipitaciones extremas, satura los sistemas de drenaje convencionales y multiplica los episodios de inundación urbana (Ojeda et al., 2020; Fernández, 2024).

Los sistemas de drenaje tradicionales fueron concebidos para evacuar rápidamente el agua de lluvia, pero no para retener los contaminantes que esta transporta (Smyth, 2024; Sánchez et al., 2022). La infraestructura gris, basada en tuberías y colectores, presenta limitaciones significativas para la remoción de partículas de tamaño reducido como los microplásticos (Kwarciak & Madela, 2025). Por lo que, esa limitación ha impulsado un cambio de paradigma hacia enfoques que conciben el agua pluvial como un recurso que debe gestionarse en origen

mediante soluciones basadas en la naturaleza (Barranco et al., 2024; Castillejos & Venancio, 2025). Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible emergen como una alternativa que integra aspectos hidrológicos, ambientales y sociales (Tarazona et al., 2021; Lopardo et al., 2024).

Entre las tecnologías disponibles, los pavimentos permeables, los humedales artificiales, las cunetas vegetadas, las celdas de biorretención y los pozos de infiltración han demostrado capacidad para retener partículas sólidas y, por extensión, microplásticos presentes en la escorrentía (Calzadilla, 2022; García et al., 2024; Cely, 2022). La eficiencia de estos sistemas depende de múltiples factores, entre los que destacan el tamaño de las partículas, la morfología de los microplásticos, el diseño del medio filtrante y las condiciones hidrológicas de operación (Kwarciak & Madela, 2025; Smyth, 2024).

Los humedales artificiales y los sistemas de biorretención han alcanzado eficiencias de remoción superiores al 95% en condiciones operativas adecuadas, aunque la acumulación de microplásticos en los fangos superficiales puede alcanzar concentraciones considerables (Miranda, 2025; Calzadilla, 2022). La acumulación plantea interrogantes sobre la capacidad de estos sistemas para retener los contaminantes a largo plazo sin comprometer su funcionalidad hidráulica (Kwarciak & Madela, 2025). La evidencia de degradación de los microplásticos durante su paso por los humedales, con la aparición de grietas, agujeros y nudos en las fibras, sugiere un potencial de biodegradación que merece ser explorado con mayor profundidad (Miranda, 2025).

A pesar de los avances documentados en la literatura internacional, la implementación de estos sistemas en América Latina y, particularmente, en Perú, sigue siendo incipiente y carece de marcos normativos específicos (Tarazona et al., 2021; Faicán & Matovelle, 2022). La evidencia disponible muestra que la concentración de microplásticos en sedimentos de canales de riego y cuerpos de agua superficiales es mayor en zonas cercanas a centros poblados (Canchari & Iannacone, 2022). Esta realidad, sumada a la ausencia de marcos normativos específicos y a la debilidad institucional para la gestión integral del agua, dificulta la adopción generalizada de soluciones sostenibles para el manejo de aguas pluviales (Castillejos & Venancio, 2025).

Frente a esta situación, surge la pregunta ¿qué eficiencia alcanzan los diferentes sistemas de gestión de aguas pluviales en la retención de microplásticos y cuáles son los factores que determinan su desempeño en contextos como el peruano? Para responderla, la presente revisión sistemática se propone evaluar la eficiencia de estos sistemas a partir del análisis de la literatura

científica publicada entre 2020 y 2025. Los objetivos específicos consisten en caracterizar metodológicamente los estudios incluidos, cuantificar las eficiencias de retención reportadas para cada tipo de sistema e identificar los factores críticos que afectan la eficiencia y las principales barreras para su implementación.

Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo descriptivo y alcance analítico. Con el fin de garantizar un procedimiento riguroso, sistemático y transparente en la localización y selección de las fuentes documentales, se aplicó el protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), estructurado en cuatro etapas consecutivas: identificación, selección, elegibilidad e inclusión

Fase de identificación

Consistió en la búsqueda y localización de documentos relacionados con el objeto de estudio. Para ello, se diseñó una estrategia de búsqueda especializada (Tabla 1) que combinó términos específicos en inglés y español, así como operadores booleanos (AND, OR). Los términos clave seleccionados incluyeron: "stormwater management", "microplastics", "urban runoff", "SUDS", "sustainable drainage systems", "retention efficiency", "escorrentía urbana", "microplásticos", "sistemas urbanos de drenaje sostenible", "eficiencia de retención", así como sus equivalentes en la literatura científica internacional. El proceso inicial permitió identificar un total de 287 registros potencialmente relevantes para la revisión.

Tabla 1

Ruta de búsqueda establecido para la fase de identificación

Base de datos	Palabras clave y operadores booleanos utilizados
Scopus	"stormwater management" OR "sustainable drainage systems" AND "microplastics" OR "tire wear particles" AND "urban runoff" AND "retention efficiency" OR "removal mechanisms"
Google Académico	"gestión de aguas pluviales" OR "sistemas urbanos de drenaje sostenible" AND "microplásticos en la escorrentía" AND "eficiencia de retención" OR "humedales artificiales"



SciELO	"escorrentía urbana" AND "microplásticos" AND "drenaje sostenible"
	OR "pavimentos permeables" AND "América Latina" OR "Perú"
Redalyc	"contaminación por microplásticos" AND "escorrentía pluvial" AND
	"tecnologías de mitigación" OR "infraestructura verde"

Nota. Elaboración propia. La estrategia de búsqueda se diseñó considerando los tesauros especializados de cada base de datos y la literatura científica previa sobre contaminación por microplásticos y drenaje urbano.

Fase de selección

Una vez obtenidos los 287 registros iniciales, se eliminaron 52 documentos duplicados con ayuda de gestores bibliográficos, reduciendo el corpus a 235 documentos únicos. Luego, se revisaron títulos, palabras clave y resúmenes para confirmar su pertinencia temática. Para asegurar la calidad y coherencia metodológica, se establecieron criterios de inclusión: investigaciones empíricas, revisiones sistemáticas, metaanálisis y documentos técnicos centrados en las variables de estudio; documentos en español o inglés publicados entre 2020 y 2025; y estudios que aborden tecnologías de drenaje sostenible o infraestructura gris. Como criterios de exclusión se definieron: documentos de divulgación general, artículos de opinión, editoriales o informes sin revisión por pares; textos sin acceso a texto completo; y estudios enfocados exclusivamente en aguas residuales sin componente de escorrentía pluvial. Durante esta fase, 163 registros fueron descartados, quedando 72 documentos preseleccionados.

Fase de elegibilidad

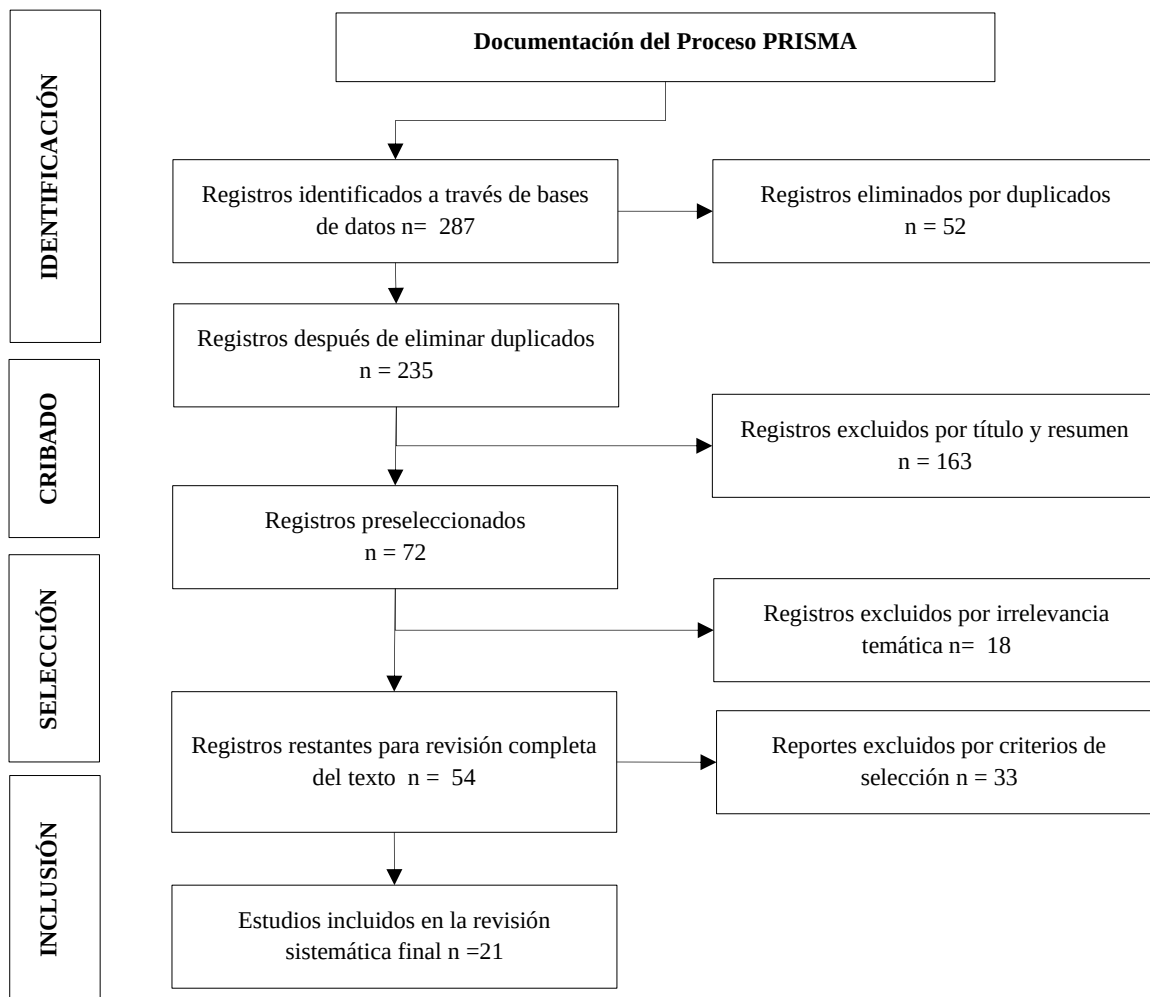
En esta fase, se analizó el texto completo de los 72 documentos que superaron la selección previa. Se verificó que cada fuente aportara información medible sobre mecanismos de retención, eficiencias según morfología y tamaño de partícula, o factores limitantes de los sistemas de drenaje. Fueron descartados 18 registros por irrelevancia temática, al no abordar directamente la relación entre sistemas de gestión de aguas pluviales y retención de microplásticos. De los 54 documentos restantes sometidos a revisión completa, 33 reportes fueron excluidos por presentar vacíos metodológicos severos, falta de trazabilidad en las mediciones de concentración o por no responder a los objetivos específicos formulados en la investigación.

Fase de inclusión

La etapa final consolidó un corpus documental definitivo compuesto por un total de 21 documentos únicos para el análisis cualitativo y sintético. La selección final abarca tanto evidencias globales como experiencias focalizadas en América Latina, lo cual permite contextualizar las deficiencias de infraestructura y los retos normativos de la región. El proceso integral de identificación, cribado y exclusión se presenta de forma esquemática en la Figura 2. Los 21 artículos incluidos conforman el corpus definitivo analizado en la sección de Resultados y constituyen la base empírica para responder a los objetivos planteados en esta revisión sistemática.

Figura 2

Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios



Nota. El presente diagrama sigue la estructura recomendada por PRISMA y detalla las cuatro fases del proceso de selección de fuentes documentales empleadas en esta investigación.

Resultados

El análisis del corpus documental definitivo, conformado por 21 estudios publicados entre 2020 y 2025, permitió identificar que las tecnologías evaluadas alcanzan eficiencias que oscilan entre el 71% y el 99.6%, dependiendo del tipo de sistema, el tamaño de partícula y las condiciones operativas. La caracterización metodológica evidencia una predominancia de estudios experimentales de campo y laboratorio. Además, la evidencia permitió identificar que los pavimentos permeables y los humedales artificiales son las tecnologías más estudiadas y con mayor desempeño documentado.

a. Caracterización metodológica de los estudios incluidos

La Tabla 2 sintetiza las características metodológicas de los 21 estudios incluidos en la revisión, organizados según tipo de investigación, técnicas de muestreo y análisis, y contextos geográficos de aplicación.

Tabla 2

Caracterización metodológica de los estudios incluidos en la revisión sistemática

#	Autor(es) y año	Título	País	Tipo de documento	Tipo de estudio / Metodología	Tecnología evaluada
1	García et al. (2024a)	Eficiencia de los pavimentos permeables para la retención de microplásticos de la escorrentía urbana	España	Artículo científico (actas de congreso)	Experimental (laboratorio): Simulación lluvia mediterránea (2 años); sedimento vial real (912.5 g); 59.81 L infiltrados; digestión $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ y Fenton; separación NaCl; identificación visual y Raman	Pavimento permeable por junta (PICP)
2	Calzadilla et al. (2025)	Microplásticos en SUDS maduros: evaluación del almacenamiento en suelo y su vínculo con plásticos de mayor tamaño	España	Artículo científico (revista indexada)	Experimental (campo): Muestreo en cunetas vegetadas Xàtiva; 2 campañas; 3 secciones; 900 mL suelo (1-2 cm); digestión Fenton; separación CaCl_2 y KI; identificación visual y Raman	Cunetas vegetadas (SUDS maduros)
3	Canchari & Iannacone (2022)	Microplásticos en sedimentos de canales de riego en el centro poblado de Madeán, Perú	Perú	Artículo científico (revista)	Experimental (campo): Muestreo en 3 sitios de canales de riego; separación ZnCl_2 (1.6 g/cm ³); 30 g sedimento seco; identificación visual	Canales de riego (sedimentos)

4	Calzadilla (2022)	Evaluación de la eficiencia de los humedales artificiales de Carrícola y Los Monasterios para reducir microplásticos en aguas residuales urbanas	España	Tesis de Maestría	Experimental (campo): Muestreo EDAR Carrícola (113 h.e.) y Monasterios (1500 h.e.); volúmenes: 2.5, 7.5, 100 L; tamices 5600, 425, 75, 40 µm; digestión H ₂ O ₂ ; separación CaCl ₂ y KI; identificación visual y Raman	Humedales artificiales (HA)
5	García et al. (2024b)	Removal and fate of microplastics in permeable pavements: An experimental layer-by-layer analysis	España	Artículo científico (revista indexada - STOTEN)	Experimental (laboratorio): Infiltrómetros (PICP, PICP-DWTS, PCP); simulación 2-5.5 años; sedimentación polvo vial; digestión H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂ y Fenton; separación NaCl; identificación Raman; análisis capa por capa	Pavimentos permeables (PICP, PICP-DWTS, PCP)
6	Miranda (2025)	Caracterización y evaluación de la biodegradación de microplásticos provenientes de fangos de humedal artificial mediante ensayos en microcosmos	España	Tesis de Maestría	Experimental (laboratorio): Microcosmos (10 unidades); fango superficial humedal Carrícola (0-5 cm); 3 tratamientos; 5 meses; análisis fisicoquímicos; separación CaCl ₂ y KI; identificación visual y Raman; análisis morfológico ImageJ	Humedal artificial + microcosmos
7	Kwarcia & Madela (2025)	The Occurrence and Removal of Microplastics from Stormwater Using Green Infrastructure	Polonia	Artículo científico (revista indexada - Water MDPI)	Revisión (narrativa-temática): Búsqueda Scopus, WoS, ScienceDirect, PubMed, Google Scholar (2005-2025); 169 publicaciones; análisis eficiencia GI; comparativa gris vs. verde	Biorretención, humedales, pavimentos permeables
8	Smyth (2024)	Microplastics Characterization in Stormwater: Pavement Source and Treatment Efficiency of a Bioretention Cell	Canadá	Tesis Doctoral	Experimental (campo): 2 años; celda de biorretención; 4 tipos de pavimento; autosampladores inlet/outlet; MPs >106 µm y 25-106 µm; FTIR y Raman	Biorretención + pavimentos
9	García et al. (2022)	Diseño de pavimentos permeables en España: situación actual y necesidades futuras	España	Artículo científico (revista indexada)	Revisión del estado del arte: Análisis guías internacionales y españolas; revisión proyectos I+D (FIDICA, VEA, RHIVU, SUPRIS, CerSUDS, SAFERUP!, HOFIDRAIN)	Pavimentos permeables
10	Corazza (2022)	Utilización de hormigón drenante para estructuras de	Argentina	Proyecto Final de Carrera (Pregrado)	Proyecto de ingeniería: Diseño módulos; dosificación	Hormigón drenante

	recepción de excedentes pluviales				CECOVI (362 kg/m ³ cemento, 1567 kg/m ³ agregado, a/c=0.35); modelización OpenFOAM y SWMM; análisis Robot Structural; tomografía computada INTI	
11	Ojeda et al. (2020)	Drenaje pluvial sostenible. Una alternativa de gestión del agua de lluvia en la Universidad de Sonora	México	Artículo científico (revista indexada)	Diseño hidrológico: 12 microcuencas; serie 34 años; método racional; curvas P-d-Tr (Bell); Tr=10 años; diseño red PVC; tanques cisterna; canal trapecial; pozos de infiltración	Red de drenaje + pozos de infiltración
12	Cisterna et al. (2025)	Diseño del espacio urbano para la gestión sustentable de aguas pluviales. Caso de estudio: Barrio 126 Viviendas de Yerba Buena, Tucumán	Argentina	Artículo científico (revista - AVERMA)	Diseño urbano: Relevamiento; pendiente 1.2-1.7%; método racional; intensidad 60 mm/h (Tr=5 años); diseño zanjias, jardines, techos verdes, pavimentos, pozos	SUDS (zanjas, jardines, techos, pavimentos)
13	Fernández (2024)	Propuesta de Soluciones Basadas en la Naturaleza para la gestión de aguas pluviales en la ciudad de Santander	España	Tesis de Maestría	Modelización: SWMM; 57 subcuencas; Tr=100 años (24h), Tr=500 años (1h, 2h, 12h, 24h); método Huff; biorretención, jardines, pavimentos	SUDS (biorretención, jardines, pavimentos)
14	Cely (2022)	Propuesta de un sistema urbano de drenaje sostenible para reducir los niveles de inundación en la ciudad de Cúcuta, Colombia	Colombia	Artículo científico (revista - Eco Matemático)	Diseño hidrológico: Área: 33.107 Ha; método racional; Tr=10 años; curvas IDF; Resolución 0330/2017; diseño rejillas, tuberías, pozos, desarenadores	Pozos de infiltración
15	Lopardo et al. (2024)	Obras de mitigación sustentables aplicadas a inundaciones urbanas	Argentina	Artículo científico (revista - UniSantaCruz)	Modelización: SWMM; cuenca Pergamino; Tr=10 años; datos 41 años; evaluación DRBT, pavimentos, terrazas, depósitos, biorretención	DRBT, pavimentos, depósitos, biorretención
16	Sánchez et al. (2022)	Buenas prácticas en el manejo y gestión del agua pluvial. Casos de estudio en la comarca del Bajo Segura	España	Artículo científico (revista - Cuadernos Geográficos)	Estudio de casos (cualitativo): Entrevistas; salidas de campo; 3 casos: Rojas, Daya Nueva, San Fulgencio	SUDS y SBN
17	Faicán & Matovelle (2022)	Análisis del Sistema Gestor para Aguas Pluviales en Empresas Públicas: Caso ETAPA	Ecuador	Artículo científico (revista - Polo del Conocimiento)	Evaluación cuantitativa: Instrumento a 5 ingenieros; indicadores; análisis SPSS; Alfa de Cronbach (0.972)	Gestión institucional

18	Castillejos & Venancio (2025)	Gobernanza y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como estrategias sustentables para la gestión de aguas pluviales	México	Artículo científico (revista - IBU)	Análisis de gobernanza: Casos internacionales; identificación de barreras; modelo cuádruple hélice	SUDS (gobernanza)
19	Barranco et al. (2024)	Gestión de aguas pluviales y sustentabilidad urbana. Una revisión	México	Artículo científico (revista - TyCA)	Revisión bibliográfica: Búsqueda WoS, Scopus, EbscoHost (377 docs); algoritmo Tree of Science; selección 40; análisis ATLAS.ti; paradigmas de gestión	SUDS y sustentabilidad
20	Tarazona et al. (2021)	Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS): una alternativa integral para el manejo de las aguas lluvias	Colombia	Artículo científico (revista - Mundo FESC)	Revisión bibliográfica: Búsqueda (1987-2020); análisis historia, tipologías, aplicaciones; casos internacionales	SUDS (historia y tipologías)
21	Hipólito et al. (2024)	Gestión del agua pluvial mediante sistemas de retención-detención para la zona de Tulancingo Hidalgo	México	Artículo científico (revista - Pádi)	Diseño hidrológico: Análisis SIG; modelado SIATL; muestreo de suelos; alternativas: retención-detención+pozos de absorción vs. SUDS; Tr=5 y 100 años	Retención-detención + pozos de absorción

Nota. La tabla presenta los 21 estudios incluidos en la revisión, organizados según tipo de investigación, técnicas de muestreo y análisis, y contextos geográficos de aplicación.

La caracterización de resultados revela que trece de los veintiún estudios corresponden a investigaciones experimentales de campo y laboratorio, mientras que los ocho restantes abarcan revisiones bibliográficas, modelizaciones y diseños hidrológicos. En el ámbito analítico, técnicas como la espectroscopía Raman y FTIR se emplean en el 76% de los trabajos experimentales para identificar polímeros. Asimismo, la distribución geográfica de la evidencia presenta una alta concentración en España con ocho estudios y México con cuatro, evidenciando una participación marginal de Perú con un solo registro. Esta heterogeneidad metodológica y disparidad territorial subrayan la necesidad urgente de estandarizar los protocolos de muestreo para optimizar las evaluaciones de mitigación.

b. Eficiencias de retención de microplásticos por tipo de sistema

La Tabla 3 presenta las eficiencias de retención de microplásticos reportadas para los diferentes sistemas de gestión de aguas pluviales, diferenciando por rango de tamaño de partícula, morfología y tipo de polímero.

Tabla 3
Eficiencias de retención de microplásticos reportadas por tipo de sistema

Tecnología	Eficiencia (%)	Tamaño de partícula	Morfología	Polímeros	Referencias
Pavimentos permeables	95.7 (PICP); 96.7 (PICP-DWTS); 88.8 (PCP); 89-99.6 (rango general)	<0.1 mm – 5 mm	Fragmentos, fibras, films	PP, PVOH, PVC, PET, PMS, PE	García et al. (2024a; 2024b); Kwarciak & Madela (2025)
Humedales artificiales	97.42; 98.13; 20-100 (rango general)	40 µm – 5 mm	Fibras, partículas, films	PP, PE, PET, PVC, PA	Calzadilla (2022); Kwarciak & Madela (2025)
Biorretención	>99 (con biochar); 84 (>106 µm); 71 (25-106 µm)	25-5000 µm	Fragmentos, fibras	PP, PE, PET, PA, PS	Smyth (2024); Kwarciak & Madela (2025)
Cunetas vegetadas	95-97	<0.1 mm – 5 mm	Fibras, partículas, films	PP, PVOH, PVC, PET	Calzadilla et al. (2025)
Hormigón drenante	82 (ahorro costo)	>16 mm (macroplásticos)	Fragmentos, films	PP, PE	Corazza (2022)
Pozos de infiltración	50 (reducción pico)	N/A	N/A	N/A	Cely (2022)
Pozos de absorción	90 (reducción inundación)	N/A	N/A	N/A	Hipólito et al. (2024)

Nota. La eficiencia de los pavimentos permeables varía según la configuración: PICP (pavimento de adoquines con junta permeable), PICP-DWTS (con incorporación de fango de ETAP) y PCP (hormigón poroso).

Los pavimentos permeables alcanzan eficiencias entre el 88.8% y el 99.6%, con el mejor desempeño para sistemas con fango de ETAP (96.7%) y el más bajo para hormigón poroso (88.8%) debido a su estructura abierta que facilita el escape de partículas finas (García et al., 2024; Kwarciak & Madela, 2025). Los humedales artificiales reportan eficiencias del 97.42% al 98.13% para flujo subsuperficial horizontal, aunque el rango general varía del 20% al 100% por diferencias metodológicas (Calzadilla, 2022; Kwarciak & Madela, 2025). Las celdas de biorretención alcanzan entre el 71% y 84% para partículas de 25 a 5000 µm, superando el 99% al incorporar biochar (Smyth, 2024; Kwarciak & Madela, 2025).

El análisis por tamaño de partícula muestra que los sistemas retienen eficazmente partículas >100 µm, pero la eficiencia cae hasta el 71% para fracciones <25 µm (Smyth, 2024). Las partículas <0.1 mm y los fragmentos irregulares son las más difíciles de retener, mientras que las fibras quedan atrapadas por geotextiles y vegetación (García et al., 2024; Miranda, 2025). Los polímeros de baja densidad (PP, PE) presentan mayor movilidad, mientras que los de alta densidad (PET, PVC) sedimentan más rápido (Calzadilla, 2022; García et al., 2024). La

incorporación de materiales adsorbentes como biochar y fango de ETAP mejora la retención de partículas finas, superando el 97% (Kwarciak & Madela, 2025; García et al., 2024).

c. Factores críticos y barreras para la implementación de SUDS

La Tabla 4 sintetiza los factores críticos que afectan la eficiencia de retención de microplásticos y las principales barreras identificadas para la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

Tabla 4

Factores críticos y barreras para la implementación de SUDS

Categoría	Factor crítico / Barrera	Descripción	Referencias
Factores técnicos	Tamaño de partícula <0.1 mm	Fracción más difícil de retener; escapa de la mayoría de los sistemas	García et al. (2024a; 2024b); Smyth (2024)
	Morfología de fragmentos	Mayor movilidad en medios porosos; escapan más que fibras y films	García et al. (2024b); Miranda (2025)
	Material filtrante	Biochar y arena mejoran retención; grava tiene menor eficiencia	Kwarciak & Madela (2025); Smyth (2024)
	Geotextiles	Retienen fibras eficazmente; capas múltiples mejoran eficiencia	García et al. (2024b)
	Vegetación	Raíces atrapan partículas; macrófitas en flotación mejoran retención	Calzadilla (2022); Miranda (2025)
Barreras institucionales	Falta de marcos legales	Ausencia de normativas vinculantes para SUDS en Latinoamérica	Castillejos & Venancio (2025); Faicán & Matovelle (2022)
	Debilidad institucional	Carencia de capacidades técnicas y recursos para implementación	Faicán & Matovelle (2022); Sánchez et al. (2022)
	Descoordinación interinstitucional	Falta de articulación entre niveles de gobierno	Castillejos & Venancio (2025); Faicán & Matovelle (2022)
Barreras sociales	Baja participación ciudadana	Escaso involucramiento en toma de decisiones y mantenimiento	Castillejos & Venancio (2025); Sánchez et al. (2022)
	Desconocimiento técnico	Falta de capacitación de profesionales y tomadores de decisión	Barranco et al. (2024); Tarazona et al. (2021)

Barreras económicas	Altos costos iniciales	Inversión superior a infraestructura convencional	Lopardo et al. (2024); Corazza (2022)
	Falta de financiamiento	Ausencia de presupuestos específicos para SUDS	Castillejos & Venancio (2025)
Factores hidrológicos	Intensidad de lluvia	Eventos extremos superan capacidad de retención	Smyth (2024); Ojeda et al. (2020)
	Días secos antecedentes	Acumulación de MPs en superficies aumenta concentración en escorrentía	Smyth (2024)
	Cambio climático	Aumento de precipitaciones extremas; estrés hídrico	Fernández (2024); Hipólito et al. (2024)

Nota. La tabla organiza los factores críticos y barreras en cinco categorías principales: factores técnicos que afectan la eficiencia de retención, barreras institucionales, barreras sociales, barreras económicas y factores hidrológicos. Cada factor incluye su descripción y las referencias que lo sustentan.

El tamaño de partícula emerge como el factor crítico más determinante: las fracciones inferiores a 0.1 mm y 25 μ m presentan la mayor dificultad de retención, con eficiencias que pueden reducirse hasta el 71% en sistemas de biorretención (Smyth, 2024; García et al., 2024). La morfología de los microplásticos también influye significativamente en su captura: los fragmentos de morfología irregular exhiben mayor movilidad dentro de los medios porosos y escapan con mayor frecuencia que las fibras y los films (García et al., 2024; Miranda, 2025). La incorporación de geotextiles y materiales adsorbentes como biochar y fango de ETAP mejora sustancialmente la retención de partículas finas y fibras, alcanzando eficiencias superiores al 97% (Kwarciak & Madela, 2025; García et al., 2024). La presencia de vegetación, particularmente macrófitas en flotación y sistemas radicales extensos, contribuye a la retención de microplásticos al reducir la velocidad del flujo y aumentar la superficie de contacto con el medio filtrante (Calzadilla, 2022; Miranda, 2025).

Las barreras para la implementación de SUDS se agrupan en dimensiones institucionales, sociales, económicas y técnicas, con un denominador común en la mayoría de los países latinoamericanos: la ausencia de marcos legales vinculantes y la debilidad institucional para la gestión integral del agua (Castillejos & Venancio, 2025; Faicán & Matovelle, 2022). La falta de voluntad política y el desconocimiento técnico entre los profesionales del sector constituyen obstáculos transversales que limitan la adopción generalizada de soluciones sostenibles (Barranco et al., 2024; Tarazona et al., 2021).

Finalmente, en el contexto peruano, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento aún no ha incorporado lineamientos claros para la implementación de SUDS en proyectos de drenaje urbano, lo que perpetúa la dependencia de infraestructura gris convencional (Canchari & Iannacone, 2022). Superar estas barreras exige un enfoque de gobernanza colaborativa que involucre a todos los actores del ciclo del agua y promueva la participación ciudadana en la toma de decisiones (Castillejos & Venancio, 2025).

Discusión

Los resultados de esta revisión sistemática muestran que los sistemas de manejo de aguas pluviales son una opción efectiva para retener microplásticos con una eficiencia de hasta el 99.6% bajo condiciones operativas adecuadas. Sin embargo, la variabilidad en las metodologías detectadas en los 21 estudios revisados. La discusión que se presentará a continuación se organiza en torno a los tres objetivos específicos propuestos, con el propósito de analizar críticamente los hallazgos, confrontarlos con la evidencia existente y extraer conclusiones para la aplicación de estas tecnologías en contextos como el de Perú.

En cuanto a la caracterización metodológica, el 62% del material revisado corresponde a estudios experimentales, lo cual indica un esfuerzo consolidado para generar pruebas empíricas sobre el rendimiento de los sistemas de gestión de aguas pluviales. La variedad de métodos utilizados, genera una diversidad que complica la comparación directa de las eficiencias reportadas. García et al. (2024b) utilizaron infiltrómetros para replicar condiciones controladas durante 5.5 años, mientras que Calzadilla et al. (2025) llevaron a cabo muestreos en campo de cunetas vegetadas con más de diez años de funcionamiento, evidenciando una tensión entre el control experimental y la representatividad de situaciones reales.

La distribución de la investigación presenta una notable concentración en España y México, mientras que Perú tiene una participación mínima, lo que revela una falta de estudios en el ámbito latinoamericano y restringe la aplicabilidad de los hallazgos. El único trabajo peruano que se considera es el de Canchari & Iannacone (2022) que se enfoca en sistemas de riego, lo que pone de manifiesto la limitada atención que recibe el tema de microplásticos en la esorrentía urbana del país.

Respecto a las efectividades de retención según el tipo de sistema, los hallazgos confirman que las superficies permeables, los humedales artificiales y los sistemas de biorretención son las

tecnologías más eficientes, con eficiencias que superan el 95% en la mayor parte de las configuraciones analizadas. García et al. (2024a) informaron que los pavimentos permeables que incluyen lodo de plantas de tratamiento de agua potable logran una eficiencia del 96.7%, superando al hormigón poroso tradicional que solo alcanza el 88.8%. De manera similar, Kwarciak & Madela (2025) demostraron que la adición de biochar en sistemas de biorretención permite alcanzar eficiencias superiores al 99%, lo que posiciona a estos materiales como una alternativa prometedora para la retención de partículas finas.

El análisis por tamaño de partícula revela un patrón consistente que constituye una limitación técnica común a todos los sistemas evaluados, ya que las partículas de tamaño inferior a 25 micrómetros presentan la mayor dificultad de retención, con eficiencias que pueden reducirse hasta el 71%. Smyth (2024) documentó esta caída en la eficiencia al comparar la retención de partículas mayores a 106 micrómetros, que alcanza el 84%, con la de partículas entre 25 y 106 micrómetros, que desciende al 71%. García et al. (2024b) corroboraron este hallazgo al identificar que las partículas de tamaño inferior a 0.1 milímetros y los fragmentos de morfología irregular constituyen las fracciones más difíciles de retener, mientras que las fibras tienden a ser atrapadas por los geotextiles y la vegetación.

Los polímeros de baja densidad, como el polipropileno y el polietileno, muestran mayor movilidad dentro de los sistemas filtrantes según lo documentado por García et al. (2024a) y Calzadilla (2022) mientras que los de alta densidad como el PET y el PVC tienden a sedimentar más rápidamente. La diferencia en el comportamiento de los polímeros tiene implicaciones importantes para el diseño de sistemas de gestión de aguas pluviales, ya que sugiere que los mecanismos de retención varían según las propiedades fisicoquímicas de las partículas.

La adición de materiales que absorben se presenta como una táctica interesante para abordar esta limitación, como lo evidencian Kwarciak & Madela (2025) al lograr eficiencias que superan el 97% en la filtración de partículas pequeñas mediante la utilización de biochar. Sin embargo, la información existente sobre el rendimiento a largo plazo y los efectos de la obstrucción en la eficacia de retención aún es escasa, lo que representa una laguna en nuestro entendimiento que necesita ser priorizada en investigaciones futuras.

Con respecto a los factores críticos y barreras, los aspectos técnicos, institucionales y sociales están profundamente conectados y afectan la implementación efectiva de los SUDS en América Latina. Al respecto, Castillejos & Venancio (2025) señalaron que la falta de normativas legales

obligatorias y la fragilidad institucional representan barreras generales que impiden la adopción de opciones sostenibles en la mayoría de los países de América Latina. Faicán & Matovelle (2022) tras revisar la gestión de aguas pluviales en Ecuador, reportaron que no se considera la realización de estudios y planes sobre aguas pluviales como una prioridad en las instituciones públicas.

Barranco et al. (2024) y Tarazona et al. (2021) coincidieron en que la falta de conocimiento técnico entre los expertos del área y la escasa participación ciudadana en las decisiones representan obstáculos significativos que perpetúan el uso de infraestructura convencional de hormigón. En el caso de Perú, Canchari & Iannacone (2022) demostraron que la cantidad de microplásticos en los sedimentos de los canales de riego es considerablemente más alta en áreas cercanas a zonas urbanas.

Finalmente, Sánchez et al. (2022) documentaron casos exitosos de implementación de SUDS en España, donde la cooperación entre el sector público y privado, así como la implicación de la ciudadanía, han sido elementos esenciales para el éxito de las iniciativas, brindando lecciones valiosas para Perú. Para superar estos impedimentos, es necesario adoptar un modelo de gobernanza colaborativa que incluya a todos los involucrados en la gestión del agua, fomente la participación ciudadana y promueva el desarrollo de conocimientos técnicos adaptados a las particularidades locales.

Conclusiones

Los sistemas analizados en esta revisión sistemática para la gestión de aguas pluviales logran retener microplásticos con eficiencias que varían entre el 71% y el 99.6%, lo cual confirma su efectividad como medidas para reducir la contaminación plástica en áreas urbanas. Los pavimentos permeables que incluyen materiales adsorbentes y los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal muestran el mejor rendimiento registrado, superando el 95% de retención bajo condiciones operativas adecuadas. La información analizada indica que la efectividad de estos sistemas depende en gran medida del diseño del medio filtrante, la disposición hidráulica y la presencia de vegetación que potencie los mecanismos de retención natural.

En cuanto al primer objetivo específico, la caracterización de los 21 estudios revisados muestra que predominan las investigaciones experimentales, que constituyen el 62% del total de la



documentación, concentrándose principalmente en España y México, mientras que Perú tiene un papel menor con solo un estudio. Las técnicas de espectroscopía Raman y FTIR se utilizan en el 76% de los trabajos experimentales para identificar polímeros, y el proceso de extracción más común es la digestión con peróxido de hidrógeno y la separación por densidad con sales. Por lo tanto, la diversidad en los métodos evidencia la necesidad urgente de estandarizar los procedimientos de muestreo y análisis, para asegurar que los resultados sean comparables entre diferentes estudios y facilitar la recopilación de evidencias a nivel mundial.

En relación con el segundo objetivo específico, los datos sobre las eficiencias de retención muestran que los pavimentos permeables con lodo de planta de tratamiento de agua potable logran un 96.7%, los humedales artificiales alcanzan el 98.13%, y los sistemas de biorretención con biochar superan el 99%. Por otro lado, el hormigón poroso tiene la eficiencia más baja, con un 88.8%. Las partículas que miden menos de 25 micrómetros y los fragmentos de forma irregular son las más complicadas de retener, con eficiencias que pueden disminuir hasta el 71% en sistemas de biorretención, mientras que las fibras son retenidas de manera eficaz por geotextiles y vegetación. Los polímeros de baja densidad, como el polipropileno y polietileno, se mueven más libremente en los sistemas de filtración, mientras que los de alta densidad, como el PET y PVC, tienden a sedimentar más rápidamente.

En lo que respecta al tercer objetivo específico, el reconocimiento de factores críticos y barreras indica que el tamaño de las partículas, la forma de los microplásticos y el diseño del material filtrante son los aspectos técnicos más cruciales para la efectividad en la retención. Por otro lado, la falta de normativas legales obligatorias, la fragilidad de las instituciones y la falta de conocimiento técnico son las principales dificultades para la implementación en entornos latinoamericanos. La existencia de vegetación y la utilización de geotextiles y materiales que absorben, como el biochar y los lodos de las ETAP, aumentan significativamente la capacidad de retención, logrando eficiencias que superan el 97% para partículas pequeñas y fibras. En el caso de Perú, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento no ha establecido directrices claras para aplicar SUDS en proyectos de drenaje urbano, lo que mantiene la dependencia de la infraestructura convencional gris.

Entre las limitaciones de esta revisión se encuentra la diversidad de métodos en los estudios examinados, lo que dificulta la comparación directa de eficiencias por las variaciones en procedimientos de recolección, extracción, identificación y cuantificación de microplásticos.

Además, la ausencia de estudios sobre rendimiento a largo plazo y efectos de acumulación constituye una carencia que debe abordarse. Para las proyecciones, se sugiere realizar estudios de caso en Perú que consideren condiciones locales, investigar el funcionamiento a largo plazo y la capacidad para retener partículas $<25\ \mu\text{m}$, e incorporar biochar de residuos agrícolas para mejorar la retención de partículas finas. Finalmente, se requiere estandarizar protocolos de muestreo y análisis de microplásticos en drenaje urbano y crear marcos regulatorios que fomenten la adopción de SUDS en Perú.

Referencias Bibliográficas

- Barranco, N., López, F., Torres, M. C., & Albornoz, P. M. (2024). Gestión de aguas pluviales y sustentabilidad urbana. Una revisión. *Tecnología y ciencias del agua*, 15(3), 423-460. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2024-03-10>
- Calzadilla, D. (2022). *Evaluación de la eficiencia de los humedales artificiales de Carrícola (Valencia) y Urbanización "Los Monasterios" (Puçol, Valencia) para reducir la concentración de microplásticos en las aguas residuales urbanas*. Tesis de Maestría, Universitat Politècnica de València. Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/bitstreams/2b295300-e61b-4b9f-8b7c-57e9d1fd144a/download>
- Calzadilla, D., Hernández, C., Martín, M., & Andrés, I. (2025). Microplásticos en SUDS maduros: evaluación del almacenamiento en suelo y su vínculo con plásticos de mayor tamaño. *Ingeniería del Agua*, 29(1), 44-56. <https://doi.org/10.4995/ia.2025.22730>
- Canchari, F., & Iannacone, J. (2022). Microplásticos en sedimentos de canales de riego en el centro poblado de Madeán, distrito de Madeán, provincia de Yauyos, región Lima, Perú. *The Biologist*, 20(1), 85-92. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9398100.pdf>
- Castillejos, D., & Venancio, A. (2025). Gobernanza y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como estrategias sustentables para la gestión de aguas pluviales. *Revista IBU(2)*, 169-187. <https://www.revistaibu.org/index.php/reut-ibu/article/download/23/40>
- Cely, N. J. (2022). Propuesta de un sistema urbano de drenaje sostenible para reducir los niveles de inundación en la ciudad de Cúcuta, Colombia. *Eco Matemático*, 13(2), 6-17. <https://doi.org/10.22463/17948231.3529>
- Cisterna, M. S., Márquez, S. G., Garbero, L. M., Villa, C., & Atencia, S. (2025). Diseño del espacio urbano para la gestión sustentable de aguas pluviales. Caso de estudio: Barrio 126 Viviendas de Yerba Buena, Tucumán. *Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (AVERMA)*, 29, 93-104. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/194327/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Corazza, I. (2023). *Utilización de hormigón drenante para estructuras de recepción de excedentes pluviales*. Proyecto Final de Carrera, Universidad Tecnológica Nacional,



-
- Facultad Regional Santa Fe].
https://www.academia.edu/download/107063436/PFC_CORAZZA_Ignacio.pdf
- Faicán, M. R., & Matovelle, C. (2022). Análisis del Sistema Gestor para Aguas Pluviales en Empresas Públicas: Caso ETAPA. *Polo del Conocimiento*, 7(8), 2559-2583.
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/4528/10814>
- Fernández, P. (2024). *Propuesta de Soluciones Basadas en la Naturaleza para la gestión de aguas pluviales en la ciudad de Santander*. Tesis de Maestría, Universidad de Cantabria.
https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/33638/2024_FernandezAse nsioP.pdf?sequence=1
- García, E., Benito, A., Hernández, C., Sanz, C., Martín, M., & Andrés, I. (2024). Removal and fate of microplastics in permeable pavements: An experimental layer-by-layer analysis. *Science of the Total Environment*, 929, 172627.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172627>
- García, E., Hernández, C., & Andrés, I. (2024). *Eficiencia de los pavimentos permeables para la retención de microplásticos de la escorrentía urbana*. Cartagena, España.: En VII Jornadas de Ingeniería del Agua. <http://hdl.handle.net/10317/16784>
- García, E., Rodríguez, J., Andrés, I., Hernández, C., Anta, J., & Martín, M. (2022). Diseño de pavimentos permeables en España: situación actual y necesidades futuras. *Ingeniería del Agua*, 26(4), 279-296. <https://doi.org/10.4995/ia.2022.18290>
- Hipólito, U., Navarro, H. I., Cerón, J. E., Contreras, C., Flores, J., & Lozano, J. A. (2024). Gestión del agua pluvial mediante sistemas de retención–detención para la zona de Tulancingo Hidalgo. *Pádi*, 12, 181-190.
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/download/13441/11757>
- Kwarciak, A., & Madela, M. (2025). The occurrence and removal of microplastics from stormwater using green infrastructure. *Water*, 17(14), 2089.
<https://doi.org/10.3390/w17142089>
- Lopardo, L. J., Salvi, P. E., & Lopardo, M. C. (2024). Obras de mitigación sustentables aplicadas a inundaciones urbanas. *Revista Multidisciplinar do UniSantaCruz*, 2(1), 1-10.
<https://doi.org/10.55905/rmuscv2n1-003>
- Miranda, J. C. (2025). *Caracterización y evaluación de la biodegradación de microplásticos provenientes de fangos de humedal artificial mediante ensayos en microcosmos con distintas condiciones bióticas*. Tesis de Maestría, Universitat Politècnica de València.
<https://riunet.upv.es/entities/publication/3d4e3521-5b88-4691-8f11-7599654c0b63>
- Ojeda, A., Álvarez, C. R., & Orona, D. C. (2020). Drenaje pluvial sostenible. Una alternativa de gestión del agua de lluvia en la Universidad de Sonora. *CONTEXTO. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 14(20), 54-72.
<https://doi.org/10.29105/contexto14.20-4>
- Sánchez, E., Olcina, J., & Martí, J. (2022). Buenas prácticas en el manejo y gestión del agua pluvial. Casos de estudio en la comarca del Bajo Segura. *Cuadernos Geográficos*, 61(1), 229-250. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v61i1.21086>



-
- Smyth, K. (2024). *Microplastics characterization in stormwater: Pavement source evaluation and treatment efficiency of a bioretention cell*. Tesis Doctoral, University of Toronto. <https://utoronto.scholaris.ca/bitstreams/db7a6bee-d035-4d15-a905-49418fb3d356/download>
- Tarazona, L. V., Bonilla, C. A., & Rojas, J. P. (2021). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS): una alternativa integral para el manejo de las aguas lluvias. *Mundo FESC*, 11(21), 140-155. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.628>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.