

PAVIMENTOS PERMEABLES: INFRAESTRUCTURAS URBANAS PARA EL CONTROL DE MICROPLÁSTICOS

Eduardo García-Haba^a, Carmen Hernández-Crespo^b, Miguel Martín^c, Alba Benito-Kaesbach^d, Carlos Sanz-Lazaro^e e Ignacio Andrés-Doménech^f

^aInstituto Universitario de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente – Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n, 46022, Valencia (España). ^bDepartamento de Ecología, Universidad de Alicante, PO Box 99, E-03080, Alicante (España); Instituto Multidisciplinar para el Estudio del Medio (IMEM), Universidad de Alicante, P.O. Box 99, E-03080, Alicante (España),

^aedgarha@upv.es; ^bcarhercr@upv.es; ^cmmartin@upv.es; ^dalba.benito@ua.es; ^ecarsanz@ua.es; ^figando@upv.es

Introducción

El crecimiento de las ciudades junto con el aumento de superficie impermeable, aumentan la producción de escorrentía pluvial. Este flujo de agua transporta gran cantidad de contaminantes, incluyendo microplásticos (MP) a los medios receptores. Investigaciones recientes han demostrado que existe una fuerte correlación entre los MP y sólidos suspendidos (SST). Un modo eficaz de retener SST contenidos en la escorrentía, es emplear Sistemas Urbanos de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS). Particularmente, los pavimentos permeables (PP) representan una de las soluciones SUDS más empleadas y con elevada eficiencia de retención de contaminantes particulados. Por esta razón, los PP se postulan como una herramienta capaz de retener microplásticos eficientemente. Este estudio evalúa la capacidad de los PP para retener microplásticos mediante un análisis capa por capa, a través de experimentos llevados a cabo en laboratorio. Los resultados obtenidos permitirán comprender el proceso de eliminación de microplásticos por los PP.

Metodología

El montaje experimental consiste en un infiltrómetro de pavimento permeable de tipo adoquín por juntas (Figura 1), complementado con un simulador de lluvia (Naves et al. 2020). Se simuló la acumulación progresiva de contaminantes en la superficie del PP, aplicando sedimento real en seco (input), procedente de calzadas pavimentadas de la Universitat Politècnica de València (Yang et al. 2022). De este modo, el sedimento actuó como input de MP. Asimismo, se simulaban eventos de lluvia tratando de reproducir el régimen pluviométrico medio de València (España), generando lluvias sintéticas simplificadas de 16 mm de volumen y 30 minutos de duración (32 mm/h), cada 15 días (Andrés-Doménech et al. 2010). Se empleó agua desionizada para la lluvia sintética simulada. El experimento se llevó a cabo durante un periodo total equivalente a 2 años de simulaciones. Tras cada evento de simulación de lluvia, se recogieron muestras del agua infiltrada por el pavimento permeable (output). Al finalizar el experimento, se procedió al desmontaje del PP. Se tomaron muestras de los materiales que

componían las capas del PP, mediante el lavado con agua desionizada.

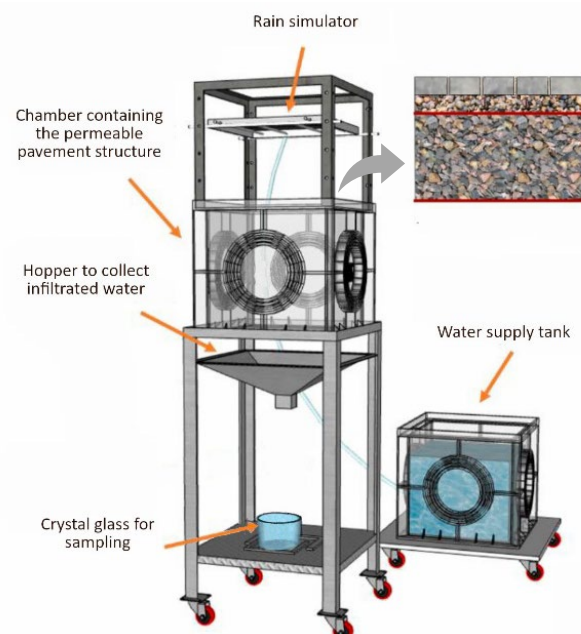


Figura 1. Esquema y sección del infiltrómetro de pavimento permeable (adaptado de Fernández-Gonzalvo et al. 2021).

Para la extracción e identificación de MP, se consideró el análisis de dos tipos de muestras: matriz sólida (sedimento real) y matriz líquida (agua infiltrada y procedente del lavado de los materiales). Debido a la alta concentración de materia orgánica en las muestras sólidas, se aplicó un proceso de digestión secuencial utilizando H_2SO_4 1:1 H_2O_2 (Hernández-Arenas et al. 2021) y H_2O_2 con Fe^{2+} como catalizador (Hurley et al. 2018). Para separar las partículas plásticas de la matriz sólida, se desarrolló un método de densidad utilizando una solución saturada de agua desionizada y NaCl , con una concentración de 322 g/L (Bellasi et al. 2021). A partir de este momento, tanto las muestras sólidas como las líquidas, se filtraron a través de filtros de fibra de vidrio de 1,2 μm . Los MP se identificaron visualmente mediante estereomicroscopio (MOTIC SMZ 143 N2GG) y espectroscopía Raman.

Resultados y discusión

La concentración media de MP en el sedimento fue 4762.2 ± 973.8 MP/kg. Las características más comunes fueron: polipropileno (74 %), de tipo fragmento (90%) y tamaño <0.1 mm. Estos resultados se muestran en la misma línea que en los obtenidos en otros estudios, cuyos polímeros y formas más frecuentes en los sedimentos analizados coinciden con los de este estudio (Mbachu et al. 2022; Liu et al. 2019; Olesen et al. 2020 y Townsend et al. 2019). Respecto al agua infiltrada, la concentración media de MP se estimó en 3.0 ± 1.0 MP/L. El polipropileno fue el polímero más abundante (28%). Se estimaron similares porcentajes de fragmentos y fibras (46% y 44%). En cuanto al tamaño, destaca que el 56% de los MP fueron menores de 0.1 mm, y el 26% correspondieron a la fracción 1 – 5 mm. La menor presencia de fragmentos y films en output, en comparación con input, sugiere que los pavimentos permeables tienen una alta capacidad de retención de estas formas. No obstante, la proporción de fibras es mayor en output que en input, coincidiendo con otros estudios sobre diferentes técnicas de SUDS para retención de MP (Smyth et al. 2021 y Werbowski et al. 2021). Este hecho indica que las fibras son propensas a ser arrastradas por el agua, escapando de las capas granulares que componen el pavimento permeable, incluso de los geotextiles.

En términos totales, el número estimado de MP que se acumularon en la superficie del pavimento fue de 4345 partículas. Por otro lado, 186 partículas fueron liberadas por el pavimento permeable. Los resultados demuestran una importante reducción en el número de MP entre el sedimento aplicado y el agua infiltrada (96%). La inexistencia de estudios previos similares no permite la comparación entre los resultados obtenidos, poniendo de manifiesto lo novedoso de esta investigación. No obstante, comparando eficiencias de retención de SST, los resultados se encuentran en el mismo orden de magnitud que los obtenidos por Kamali et al. (2017), entre el 72% y el 100%, y Hernández-Crespo et al. (2019).

Respecto a la distribución de MP retenidos en la estructura del PP, Se aprecia una significativa proporción de MP acumulados sobre la superficie del PP

(Figura 2), fundamentalmente asociados a la forma tipo fragmento. Este hecho podría asociarse directamente a la acumulación de sedimento como consecuencia de la costra impermeable que se genera en los primeros centímetros de la superficie (Brown et al. 2009; James, 2004; James and Gerrits, 2003; Pratt et al. 1995; Baladès et al. 1995). En las capas internas, los geotextiles juegan un papel fundamental para retener MP en comparación con el resto de capas. Este material permite capturar más

del 50% de los MP, especialmente de tipo fibra.

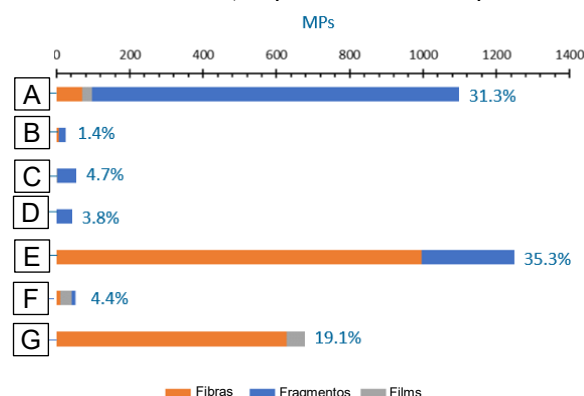


Figura 2. Distribución y caracterización por forma de MP en las capas del pavimento permeable: A. Sedimento acumulado en superficie; B. Sedimento retenido en el adoquín; C. Relleno de juntas; D. Grava fina; E. Geotextil superior; F. Grava gruesa; G. Geotextil inferior.

Puede concluirse que los PP pueden actuar significativamente como elementos de retención de microplásticos (especialmente de fragmentos y films). Futuras investigaciones deberían centrarse en la retención de las fibras que con capaces de escapar de la estructura. Cabe destacar que no se detectó la presencia de plásticos procedentes de los materiales empleados durante el experimento, incluyendo el geotextil.

Agradecimientos

Esta investigación es parte de los proyectos de I+D+i ENGODRAIN (RTI2018-094217-B-C31) y SUDSLong-VLC (PID2021-122946OB-C32) financiados por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por “FEDER Una manera de hacer Europa”. Eduardo García Haba agradece la ayuda recibida para contratos predoctorales para la formación de doctores (Ref. PRE2019-089409) financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por “FSE Invierte en tu futuro”.

Referencias Bibliográficas

- Andrés-Doménech, I., Montanari, A., Marco, J.B., 2010. Stochastic rainfall analysis for storm tank performance evaluation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14, 1221–1232. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1221-2010>.
- Baladès, J. D., Legret, M., & Madiéc, H. (1995). Permeable pavements: Pollution management tools. *Water Science and Technology*, 32(1), 49–56. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)00537-W](https://doi.org/10.1016/0273-1223(95)00537-W)
- Bellasi, A., Binda, G., Pozzi, A., Boldrocchi, G., Bettinetti, R. (2021). The extraction of microplastics from sediments: An overview of existing methods and the proposal of a new and green alternative. *Chemosphere*. Volume 278, September 2021, 130357. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130357>
- Brown, C., Chu, A., Van Duin, B., & Valeo, C. (2009). Characteristics of Sediment Removal in Two Types of Permeable Pavement. <http://iwaponline.com/wqrj/article-pdf/44/1/59/229552/wqrjc0440059.pdf>
- Fernández-Gonzalvo, M., Hernández-Crespo, C., Martín, M., & Andrés-Doménech, I. (2021). Comparison of permeable pavements effluent under Atlantic and Mediterranean rainfall regimes: A mid-term laboratory experience. *Building and*

Environment, 206, 108332.
<https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108332>

Hernández-Arenas, R., Beltrán-Sanahuja, A., Navarro-Quirant, P., Sanz-Lazaro, C. (2021). The effect of sewage sludge containing microplastics on growth and fruit development of tomato plants. *Environmental Pollution*. Volume 268, Part B, 1, 115779. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115779>

Hernández-Crespo, C., Fernández-Gonzalvo, M., Martín, M., & Andrés-Doménech, I. (2019). Influence of rainfall intensity and pollution build-up levels on water quality and quantity response of permeable pavements. *Science of The Total Environment*, 684, 303–313. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.05.271>

Hurley, R.R., Lusher, A.L., Olsen, M., Nizzetto, L., 2018. Validation of a method for extracting microplastics from complex, organic-rich, environmental matrices. *Environmental Science and Technology*. 52, 7409e7417. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01517>.

James, W. (2004). Clogging of Permeable Concrete Block Pavement by Street Particulates and Rain. *Journal of Water Management Modeling*. <https://doi.org/10.14796/JWMM.R220-29>

James, W., & Gerrits, C. (2003). Maintenance of Infiltration in Modular Interlocking Concrete Pavers with External Drainage Cells. *Journal of Water Management Modeling*. <https://doi.org/10.14796/JWMM.R215-22>

Kamali, M., Delkash, M., & Tajrishy, M. (2017). Evaluation of permeable pavement responses to urban surface runoff. *Journal of Environmental Management*, 187, 43–53. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2016.11.027>

Liu, F., Vianello, A., & Vollertsen, J. (2019). Retention of microplastics in sediments of urban and highway stormwater retention ponds. *Environmental Pollution*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113335>

Mbachu, O., Kaparaju, P., & Pratt, C. (2022). Plastic pollution risks in bioretention systems: a case study. *Environmental Technology* 2022, Pages 1-39, 1–39. <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2034984>

Naves, J., Anta, J., Suárez, J., & Puertas, J. (2020). Development and Calibration of a New Dripper-Based Rainfall Simulator for Large-Scale Sediment Wash-Off Studies. *Water* 2020, Vol. 12, Page 152, 12(1), 152. <https://doi.org/10.3390/W12010152>

Olesen, K. B., Stephansen, D. A., van Alst, N., & Vollertsen, J. (2019). Microplastics in a stormwater pond. *Water (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/w11071466>

Pratt, C. J., Mantle, J. D. G., & Schofield, P. A. (1995). UK research into the performance of permeable pavement, reservoir structures in controlling stormwater discharge quantity and quality. *Water Science and Technology*, 32(1), 63–69. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)00539-Y](https://doi.org/10.1016/0273-1223(95)00539-Y)

Smyth, K., Drake, J., Li, Y., Rochman, C., van Seters, T., & Passepport, E. (2021). Bioretention cells remove microplastics from urban stormwater. *Water Research*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116785>

Townsend, K. R., Lu, H. C., Sharley, D. J., & Pettigrove, V. (2019). Associations between microplastic pollution and land use in urban wetland sediments. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(22), 22551–22561. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04885-w>

Werbowski, L. M., Gilbreath, A. N., Munno, K., Zhu, X., Grbic, J., Wu, T., Sutton, R., Sedlak, M. D., Deshpande, A. D., & Rochman, C. M. (2021). Urban Stormwater Runoff: A Major Pathway for Anthropogenic Particles, Black Rubbery Fragments, and Other Types of Microplastics to Urban Receiving Waters. 1, 1420–1428. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.1c00017>Ziajahromi, S.,

Yang, Q., Gao, Z., & Beecham, S. (2022). A Sustainable Approach to Cleaning Porous and Permeable Pavements. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 14583, 14(21), 14583. <https://doi.org/10.3390/SU142114583>