

Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de paredes verdes como política ambiental para la mitigación del cambio climático

Greywater treatment through Green Walls System as an environmental policy for climate change mitigation

Gianella Mendoza^{1*} 

1 Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, Universidad Nacional del Callao. Callao, Perú.



Citar como: Mendoza, G. (2023). «Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de paredes verdes como política ambiental para la mitigación del cambio climático». *South Sustainability*, 4(1), e073. DOI: 10.21142/SS-0401-2023-e073

Artículo recibido: 17/2/2023
Revisado por pares
Artículo aprobado: 21/3/2023

El presente manuscrito fue seleccionado y presentado en el evento «Diálogos académicos: aportes de la ciencia a nuestro desafío climático, 4.ª ed.» (noviembre de 2022), organizado por el Ministerio del Ambiente (Minam) y el Grupo Impulsor de Acción Climática de la Academia.



©La autora, 2023. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

*E-mail de correspondencia:
jg.mendozaguevara@gmail.com

RESUMEN

La escasez de agua está directamente relacionada con la crisis del cambio climático, por lo que se requiere de acciones inmediatas para asegurar un futuro donde este recurso pueda estar disponible en la cantidad y calidad necesarias. En el presente documento se recomienda el uso de un sistema de paredes verdes para el tratamiento de aguas grises, como política ambiental frente a este fenómeno global. Las ventajas de la aplicación de este sistema de tratamiento residen en la obtención de fuentes alternativas de agua para su uso en el riego de parques, jardines u otras zonas verdes. Además, contribuye en la gestión sostenible del agua, la reducción de emisiones de carbono y la mitigación de la contaminación acústica y atmosférica.

Palabras clave: sistema de paredes verdes, aguas residuales, escasez de agua, plantas ornamentales, recursos hídricos

ABSTRACT

Water scarcity is directly related to the climate change crisis, meaning that immediate action is required in order to ensure a future in which this resource will be available in the required quantity and quality. In this article, the use of a green wall system for the treatment of greywater is recommended as an environmental policy to combat this global phenomenon. The advantages of applying this treatment system lie in the obtaining of alternative water sources for use in the irrigating of parks, gardens or other green spaces, while also contributing to the sustainable management of water, the reduction of carbon emissions, and the mitigation of acoustic and atmospheric pollution.

Keywords: Green wall system, wastewater, water scarcity, ornamental plants, water resources



Introducción

En el mundo, dos tercios de la población vive en regiones donde, al menos una vez al año, sufre de escasez de agua (WWDR, 2015). Esta situación no es ajena a la coyuntura peruana, ya que el 66 % de su población habita en zonas costeras.

Se sabe que en las zonas costeras del Perú se produce apenas el 2 % de las disponibilidades hídricas del país, por lo que se realizan trasvases de una cuenca a otra para intentar satisfacer las necesidades de las más grandes urbes de nuestro territorio (ANA, 2018).

Esta situación se agrava debido a que casi todas las actividades humanas que requieren agua producen aguas residuales como consecuencia de su ejecución (WWAP, 2017); por lo tanto, conforme aumenta la población, se incrementa también el volumen generado de aguas residuales (ONU, 2019) y la concentración de los contaminantes presentes en ellas.

A nivel mundial, del total de aguas residuales generadas el 80 % de estas se vierte a los cuerpos receptores sin realizar un tratamiento previo (WWAP, 2017). Algo similar sucede en el Perú, donde anualmente se vierten 243 087 012 m³ de aguas residuales domésticas sin un tratamiento previo (Minam, 2021).

Ante dicha situación, y teniendo en cuenta otros factores como la reducción en la disponibilidad de los recursos hídricos debido a la crisis del cambio climático

(ONU, 2019), además de las malas prácticas en el uso del agua, las aguas residuales han cobrado un nuevo paradigma. En los últimos años, las aguas residuales han comenzado a considerarse dentro de las alternativas de solución frente a la problemática del agua, ya que al ser tratadas pueden ser utilizadas en otras actividades que no requieran de una calidad elevada, como el agua para consumo humano (WWAP, 2017).

Dentro de los diferentes tipos de aguas residuales, las de mayor potencial para su reaprovechamiento son las aguas grises, ya que presentan niveles más bajos de contaminación. Su tratamiento resulta ser más factible y su reutilización no implica un riesgo elevado (Oviedo-Ocaña *et al.*, 2018).

Las aguas grises son aguas residuales domésticas que se generan por el uso de lavaderos, lavadoras, duchas, fregaderos de cocina y lavamanos. Para reutilizarlas se puede emplear diferentes tipos de tratamiento, que incluyen sistemas físicos, químicos y biológicos. El problema es que muchos de estos sistemas de tratamiento requieren de extensas áreas horizontales, gran consumo de energía y costos elevados para su funcionamiento, lo cual dificulta su aplicación en el lugar de generación, más aún en ciudades donde se carece de espacio horizontal suficiente (Fowdar *et al.*, 2017).

Teniendo en cuenta dichas limitaciones, surge la alternativa de los sistemas de paredes verdes, que operan bajo principios similares a los sistemas de humedales.

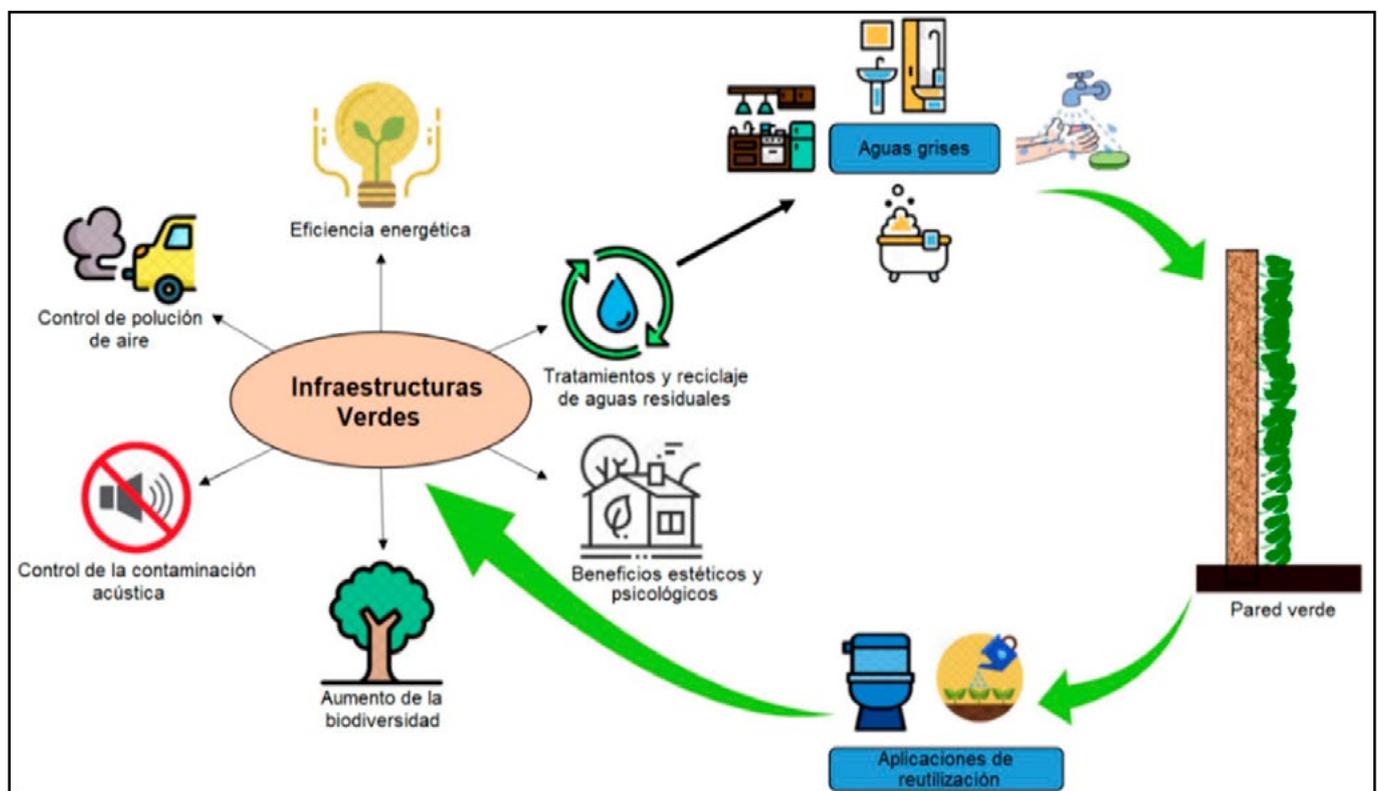


Figura 1. Beneficios del sistema de paredes verdes
Nota. Adaptado de Addo-Bankas *et al.* (2021)

Sin embargo, los sistemas de paredes verdes requieren menores áreas horizontales, menores costos operativos, de mantenimiento y energía. Por ello, este sistema representa el tipo de tratamiento más adecuado para su uso *in situ* en ciudades urbanizadas (Garzón-Zúñiga *et al.*, 2012) como las nuestras.

Enfoque y discusión

Los sistemas de paredes verdes emplean especies de plantas ornamentales, las cuales no solo cumplen un rol fundamental al momento de eliminar los contaminantes presentes en las aguas grises (Prodanovic *et al.*, 2017), sino que también proveen de múltiples beneficios. El uso de plantas contribuye en la reducción de emisiones de carbono, la mitigación de la contaminación acústica y atmosférica, así como en el ahorro energético a través de mecanismos como el sombreado, la evapotranspiración, el aislamiento térmico, el efecto de bloqueo del viento (Meral *et al.*, 2018), entre otros. En la figura 1 se aprecian algunos de sus beneficios.

La aplicación de este sistema de tratamiento ha sido estudiada en diferentes países del mundo, donde ha obtenido resultados exitosos, tal como se detalla a continuación:

- Fowdar *et al.* (2017), en Melbourne (Australia), estudiaron el tratamiento de aguas grises utilizando un sistema de pared verde, a fin de reutilizar posteriormente las aguas tratadas. Para ello, investigaron factores de diseño y operación, como la tasa de carga hidráulica, diseño de zonas saturadas, concentración de contaminantes, especies de plantas y periodos de descanso (sin riego). Como resultado, se obtuvo que el uso de especies de plantas ornamentales puede favorecer la eliminación de contaminantes y que el lirio es la especie con el mayor porcentaje de remoción de nitrógeno (> 80 %). De la investigación se concluyó que los sistemas de paredes verdes permiten obtener excelentes eficiencias de eliminación de compuestos orgánicos y de sólidos en suspensión. Así, se demostró que los sistemas de paredes verdes pueden ser diseñados para el tratamiento de aguas grises a escala doméstica.
- Pérez y Coma (2018) realizaron un estudio en la Universidad Hamad Bin Khalifa de Qatar, donde revisaron los estudios sobre el tratamiento de aguas grises mediante sistemas de paredes verdes y techos verdes a fin de dar a conocer las ventajas y desventajas de estas tecnologías. Para ello, analizaron la implicancia de la selección adecuada de las especies de plantas y sustratos, así como los inconvenientes en el funcionamiento e interacción con el usuario, con la finalidad de brindar conocimientos que contribuyan en su implementación a gran escala. Del estudio se concluyó que los sistemas de paredes verdes y los techos verdes son tecnologías que permiten conservar la energía, así como mejorar la estética y habitabilidad de los ambientes donde se implementan, al disminuir el calor, mejorar la calidad del aire y proporcionar un reverdecimiento urbano.

- Tavera Oliveros (2019) investigó el tratamiento de aguas grises a través de un sistema de paredes verdes piloto, utilizando la especie nativa *Cyperus rufus*; como sustrato empleó una mezcla de perlita y fibra de coco, en proporciones de 2:1, 3:1, 4:1. Como resultado obtuvo eficiencias de remoción significativas para los parámetros de demanda química de oxígeno (DQO, 50,3%), sólidos suspendidos totales (SST, 64 %), turbiedad (57,2 %) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5, 65,7 %). De la investigación se concluyó que la configuración óptima fue la de *Cyperus rufus* y el sustrato en relación 3:1, ya que los resultados obtenidos cumplían con la calidad establecida por la OMS para el riego de plantas ornamentales.
- Boano *et al.* (2021), desarrollaron un estudio en Italia que evaluó el aporte de cuatro agregados (biocarbón, compost, poliacrilato, carbón activado granular) combinados con un sustrato a base de fibra de coco y perlita, en el funcionamiento de una pared verde regada con aguas grises sintéticas, para su respectivo tratamiento. Como resultados se obtuvo excelentes rendimientos de eliminación de *Escherichia coli* (> 98 %) y DBO5 (> 95 %), para todos los aditivos. Asimismo, el biocarbón fue el agregado con mejor desempeño para el mayor número de parámetros evaluados, al lograr remover el 51 % de la DQO, el 47 % para el nitrógeno total Kjeldahl y nitrógeno nítrico, así como el 71 % de tensioactivos aniónicos. Del estudio se concluyó que, dentro de los márgenes experimentales considerados, el biocarbón podría mejorar el rendimiento general de una pared verde en el tratamiento de aguas grises.

En el Perú, Lazón Zamora y Mendoza Guevara (2022) realizaron una investigación sobre el tratamiento de aguas grises mediante un sistema de paredes verdes, utilizando las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterated*. Para ello, implementaron un sistema de paredes verdes a escala piloto en una vivienda del asentamiento humano San Martín, en el distrito de Los Olivos, del departamento de Lima (Perú). Realizaron el tratamiento durante 14 semanas, entre las épocas de primavera y verano de 2021 y 2022. Como resultados obtuvieron eficiencias de remoción del 100 % para coliformes fecales, así como eficiencias de remoción mayores al 96,7 % y 96,1 % para los parámetros de turbiedad y DBO5, respectivamente. Además, el pH de las aguas tratadas se mantuvo entre 7,7 y 7,9, que, de acuerdo con Bejarano y Escobar (2015), se encuentra en el rango óptimo para el desarrollo de microorganismos en el tratamiento de aguas residuales. De la investigación se concluyó que el sistema de paredes verdes implementado es efectivo para el tratamiento de aguas grises, dado que las aguas tratadas cumplen con la calidad requerida por la US EPA para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos.

Con base en los resultados obtenidos en las investigaciones detalladas anteriormente, se colige que esta tecnología de tratamiento puede aplicarse ampliamente en la costa peruana, debido a su eficacia en la remoción de los contaminantes y a la variedad de especies de plantas estudiadas, las cuales pueden adaptarse



fácilmente a las condiciones geográficas y climáticas de la región.

Por otro lado, esta tecnología representa una alternativa de mitigación de los efectos del cambio climático, dado que permite obtener agua de fuentes no convencionales para hacer frente a la disminución en la disponibilidad de los recursos hídricos.

Además, representa una alternativa viable debido a sus bajos costos de implementación y funcionamiento (operación, mantenimiento), los cuales son aproximadamente de S/ 700 y S/150 anuales, respectivamente, para un volumen de 12 litros de aguas tratadas al día. Ello considerando su implementación sin modificar la infraestructura de agua y desagüe instaladas en una vivienda, teniendo en cuenta que el agua gris se almacenará en un tanque elevado, desde donde se alimentará al sistema y se recogerá el agua tratada en recipientes adecuados para el volumen previsto.

En ese sentido, la aplicación de este sistema de tratamiento beneficiaría a las poblaciones más afectadas por el cambio climático, que son aquellas que tienen bajos ingresos económicos y que, muchas veces, carecen de instalaciones de agua y desagüe.

Por otro lado, para la implementación y el funcionamiento de este sistema de tratamiento no se requiere de conocimientos especializados, lo cual permite que esta tecnología sea fácilmente replicada.

Finalmente, es preciso indicar que los sistemas de paredes verdes, además de contribuir en la gestión sostenible del agua, brindan otros beneficios ambientales, como la mejora del paisaje urbano, la reducción de las emisiones de carbono, el ahorro de energía y la mitigación de la contaminación acústica y atmosférica (Meral *et al.*, 2018).

Conclusiones

Los resultados presentados refieren que el sistema de paredes verdes es una tecnología destacable que cuenta con las características necesarias para su implementación como medida de mitigación del cambio climático. Ante ello, se sugiere que, desde el Ministerio del Ambiente (Minam), en coordinación con los actores involucrados, generen políticas a nivel nacional que promuevan el tratamiento y la reutilización de las aguas grises generadas en los domicilios. El sistema de paredes verdes es una tecnología de bajo costo que ofrece aprovechar las aguas grises en otras actividades, que no requieran de una calidad elevada para su uso (por ejemplo, en el riego de parques o jardines). Su implementación en el país lograría disminuir la presión que existe sobre el sistema de alcantarillado (al no derivar la totalidad de las aguas residuales que se generan en una vivienda), lo que reduciría costos en el mantenimiento de las redes de desagüe y el consumo de agua de los usuarios, así como en el tratamiento de las aguas residuales.

Recomendaciones

Promover el incremento del reúso de aguas residuales domésticas

Se insta al Minam a incrementar, en la próxima actualización del Plan Nacional de Acción Ambiental, la meta de reúso de aguas residuales domésticas (actualmente es del 50 %), a fin de priorizar acciones que contribuyan a la gestión sostenible de los recursos hídricos, mediante el empleo de las aguas grises como recurso para obtener fuentes alternativas de agua.

Asimismo, se sugiere que el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento considere la modificación del Código Técnico de Construcción Sostenible, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 014-2021-VIVIENDA, a fin de incluir, dentro de las medidas de eficiencia hídrica, el ahorro de agua y reúso de aguas residuales domésticas tratadas, tal como se indicaba en el Código Técnico de Construcción Sostenible anterior, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 015-2015-VIVIENDA.

Además, se precisa que el Minam, en la ejecución de la Medida de Adaptación al Cambio Climático AGU20 «Implementación de tecnologías de ahorro de agua en ámbitos urbanos», considere a los sistemas de tratamiento de aguas grises como una de las tecnologías clave a desarrollarse, dado que, al utilizar las aguas tratadas en actividades como el riego de parques y jardines, limpieza de pisos, entre otras, se ahorra agua para consumo humano, y así se hace un uso eficiente de los recursos hídricos en los diferentes ámbitos urbanos de nuestro país.

Apoyar la investigación en tratamiento de aguas grises a nivel local

Adicionalmente, el Minam debe establecer fondos para la realización de investigaciones en tratamiento de aguas grises a nivel local, especialmente en regiones de la sierra y la selva del Perú, a fin de promover el uso sostenible del agua y aumentar la resiliencia climática relacionada con esta, en los diferentes ámbitos geográficos de nuestro país.

Las investigaciones en el tratamiento de aguas grises podrían ser realizadas en conjunto con universidades. Por ello, es esencial hacer un llamado a la academia a involucrarse en el desarrollo de trabajos abocados al tratamiento de aguas grises mediante tecnologías no convencionales, como es el caso del sistema de paredes verdes. Estas investigaciones permitirían ampliar el conocimiento que se tiene al respecto y no depender de modelos basados en las eficiencias de remoción de contaminantes, obtenidas según las condiciones climáticas y geográficas de otros países. Asimismo, se podría consolidar una lista de especies nativas de plantas que puedan ser utilizadas en la implementación de sistemas de paredes verdes en el país.

La mitigación del cambio climático mediante el uso de sistemas de paredes verdes

La política de inclusión de los sistemas de paredes verdes en el tratamiento de agua grises generaría beneficios ambientales en los hogares al proveerles de sombra, aislamiento térmico, efecto de bloqueo del viento y mejora en la calidad de aire. Asimismo, su implementación masiva contribuiría en la preservación del agua, la reducción de las emisiones de carbono y la mitigación de la contaminación acústica y atmosférica.

Finalmente, es necesario recordar que, ante la actual crisis climática global, el cumplimiento de estas acciones es de suma importancia, dado que este fenómeno contribuye en la reducción de la cantidad y calidad de los recursos hídricos, lo cual constituye una amenaza para el

desarrollo sostenible, la biodiversidad y la supervivencia de la humanidad en general.

En ese sentido, es urgente que las autoridades y demás actores involucrados accionen de manera inmediata, desde la perspectiva de la resiliencia ante los efectos del cambio climático, a fin de asegurar, para las generaciones actuales y futuras, la disponibilidad del recurso hídrico y los beneficios ambientales asociados a este, con miras a alcanzar el futuro sostenible que todos anhelamos.

Contribución de los autores

GM: Concepción, redacción y análisis del manuscrito.

Conflictos de interés

La autora declara no tener ningún conflicto de interés.



Referencias bibliográficas

- Addo-Bankas, O., Zhao, Y., Vymazal, J., Yuan, Y., Fu, J. y Wei, T. (2021).** «Green walls: A form of constructed wetland in green buildings». *Ecological Engineering*, 169, 106321. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106321>
- Autoridad Nacional del Agua, ANA. (2018).** 8.º Foro Mundial del Agua. Brasilia 2018: Compartiendo Agua. Informe Perú. Lima: Autoridad Nacional del Agua. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/935/ANA0000717.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Boano, F., Costamagna, E., Caruso, A., Fiore, S., Chiappero, M., Galvão, A., ... Masi, F. (2021).** «Evaluation of the influence of filter medium composition on treatment performances in an open-air green wall fed with greywater». *Journal of Environmental Management*, 300, 113646. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113646>
- Bejarano Novoa, M. E. y Escobar Carvajal, M. (2015).** *Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual*. Proyecto de grado en Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1298&context=ing_ambiental_sanitaria
- Convers Contreras, B. A. (2019).** *Evaluación del tratamiento de aguas grises domésticas por medio de paredes verdes con diferentes configuraciones de especies y sustratos*. Tesis de pregrado en Ingeniería Ambiental. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44593/u830738.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fowdar, H. S., Hatt, B. E., Breen, P., Cook, P. L. M. y Deletic, A. (2017).** «Designing living walls for greywater treatment». *Water Research*, 110, pp. 218-232. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.12.018>
- Garzón-Zúñiga, M. A., Buelna, G. y Moeller-Chávez, G. E. (2012).** «La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias». *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(3), pp. 153-161.
- Lakho, F. H., Qureshi, A., Novelli, L. D. D., Depuydt, V., Depreeuw, T., Van Hulle, S. W. H. y Rousseau, D. P. L. (2022).** «Performance of a green wall (Total Value Wall™) at high greywater loading rates and Life Cycle Impact Assessment». *Science of the Total Environment*, 821, 153470. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153470>
- Lazón Zamora, J. E. y Mendoza Guevara, J. G. (2022).** *Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de paredes verdes con las especies Aptenia cordifolia y Nephrolepis oblitterata*. Tesis en Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, Universidad Nacional del Callao. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12952/7280>
- Meral, A., Başaran, N., Yalçınalp, E., Doğan, E., Ak, M. y Eroğlu, E. (2018).** «A comparative approach to artificial and natural green walls according to ecological sustainability». *Sustainability*, 10(6), 1995. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su10061995>
- Ministerio del Ambiente, Minam. (2021).** *Informe nacional sobre el estado del ambiente 2014-2019*. Disponible en: https://sinia.minam.gob.pe/inea/wp-content/uploads/2021/07/INEA-2014-2019_red.pdf
- Organización de las Naciones Unidas, ONU. (2019).** *Informe de políticas de la ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua*. Ginebra: ONU.
- Oviedo-Ocaña, E. R., Dominguez, I., Ward, S., Rivera-Sanchez, M. L. y Zaraza-Peña, J. M. (2018).** «Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households». *Environmental Science and Pollution Research*, 25(20), pp. 19200-19216. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8710-5>
- Pérez, G. y Coma, J. (2018).** «Vertical greening systems to improve water management». En: G. Pérez y K. Perini (eds.), *Nature based strategies for urban and building sustainability* (pp. 191-201). Oxford: Butterworth-Heinemann. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00018-5>
- Prodanovic, V., Zhang, K., Hatt, B., McCarthy, D. y Deletic, A. (2018).** «Optimisation of lightweight green wall media for greywater treatment and reuse». *Building and Environment*, 131, pp. 99-107. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.015>
- Tavera Oliveros, C. Y. (2019).** *Evaluación del desempeño de paredes verdes para el tratamiento de aguas grises empleando plantas nativas y sustratos modificados*. Tesis en Ingeniería Civil y Ambiental. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44572/u830711.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, WWAP. (2015).** *Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo 2015: Agua para un Mundo Sostenible*. Perugia: WWAP.
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, WWAP. (2017).** *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París: WWAP.