



FÁRMACOS RESIDUALES EN CUERPOS DE AGUA: UNA NOTA SOBRE RIESGOS ECOLÓGICOS Y REMOCIÓN CON QUITOSANO

PHARMACEUTICAL RESIDUES IN BODIES OF WATER: A NOTE ON ECOLOGICAL RISKS AND REMOVAL WITH CHITOSAN

Kenia G. Felix-Sagaste¹

Orcid: 0009-0002-7626-5147

Anette López-Guardado²

Orcid: 0009-0007-8926-1344

Gonzalo De-Paz-Arroyo^{*1,3}

Orcid: 0009-0003-2241-7472

Gonzalo.paz@uas.edu.mx

Lorenzo A. Picos-Corrales^{1,3}

Orcid: 0000-0001-9029-2614

José P. Ruelas-Leyva⁴

Orcid: 0000-0002-5667-2602

Ana M. Morales-Burgos⁴

Orcid: 0000-0001-9489-2975

Miguel A. Cruz-Carrillo³

Orcid: 0000-0002-2456-2951

Josué A. Rodríguez-Mercado^{3,5}

Orcid: 0009-0002-0856-4946

¹ Facultad de Biología, Universidad Autónoma de Sinaloa, Ciudad Universitaria, Culiacán 80013, Sinaloa México.

² División de Ciencias Naturales y Exactas (DCNE), Universidad de Guanajuato, Guanajuato 36050, Gto México.

Facultad de Ingeniería Culiacán, Universidad Autónoma de Sinaloa, Ciudad Universitaria, Culiacán 80013, Sinaloa México.

³ Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, Ciudad Universitaria, Culiacán 80013, Sinaloa México.

⁴ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, Boulevard San Ángel S/N, Fraccionamiento San Benito, Culiacán 80246, Sinaloa México

Recibido: 10 de noviembre de 2025

Aceptado: 09 de diciembre de 2025

*Autor por correspondencia.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original.

Acta Biológica Mexicana Revista de la Facultad de Biología Vol. 2, Núm.3, ISSN (en trámite)

FÁRMACOS RESIDUALES EN CUERPOS DE AGUA: UNA NOTA SOBRE RIESGOS ECOLÓGICOS Y REMOCIÓN CON QUITOSANO

PHARMACEUTICAL RESIDUES IN BODIES OF WATER: A NOTE ON ECOLOGICAL RISKS AND REMOVAL WITH CHITOSAN

Felix-Sagaste Kenia G., López-Guardado Anette, De-Paz-Arroyo Gonzalo, Picos-Corrales Lorenzo A., Ruelas-Leyva José P., Morales-Burgos Ana M., Cruz-Carrillo Miguel A.,; Rodriguez-Mercado Josué A.

Resumen

La presencia de fármacos residuales en cuerpos de agua representa un riesgo ecológico emergente debido a su persistencia y limitada remoción en plantas de tratamiento. Recientes investigaciones han demostrado la presencia de altas concentraciones de fármacos residuales, como diclofenaco, ibuprofeno, carbamazepina, ciprofloxacino, tetraciclina, triclosán y metformina en distintos cuerpos de agua alrededor del mundo, lo cual representa un riesgo ecológico que atenta contra la salud humana y animal. Por lo tanto, es indispensable investigar estrategias más eficientes y amigables con el medio ambiente para el tratamiento del agua empleando el uso de materiales biodegradables como es el caso del quitosano y sus derivados los cuales han demostrado altas eficiencias de remoción de fármacos mediante mecanismos tecnológicamente sencillos y económicos como lo es la floculación y adsorción.

Palabras clave: Fármacos residuales, contaminación del agua, tratamiento de aguas, quitosano.

Abstract

The presence of residual pharmaceuticals in aquatic environments constitutes an emerging ecological risk due to their persistence and the limited efficiency of conventional treatment plants in removing them. Recent research has demonstrated the presence of high concentrations of residual pharmaceuticals, such as diclofenac, ibuprofen, carbamazepine, ciprofloxacin, tetracycline, triclosan, and metformin, in various bodies of water around the world. This triggers an ecological risk that threatens human and animal health. Therefore, it is essential to investigate more efficient and environmentally friendly strategies regarding water treatment, employing biodegradable materials such as chitosan and its derivatives. These materials have demonstrated high drug removal efficiencies through technologically simple and economical mechanisms such as flocculation and adsorption.

Keywords: Chitosan, residual drugs, water pollution, water treatment.

Introduction

Los fármacos en el medio ambiente son contaminantes emergentes importantes en las aguas superficiales a nivel mundial. Este problema surge de un consumo elevado fomentado por una administración indiscriminada, así como una eliminación ineficiente en las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales. Además, en algunas regiones todavía se produce un vertido inadecuado de aguas residuales domésticas sin tratar al medio ambiente (Herbig, 2019; Pérez-Coyotl et al., 2019). Naturalmente, la concentración de estos compuestos químicos en los cuerpos de agua ha aumentado durante los últimos años, lo que incrementa continuamente el riesgo potencial para la flora y fauna autóctonas, y podría en última instancia, afectar la salud de la población a través de la cadena alimenticia (Bilal et al., 2020). Se ha demostrado la contaminación por productos farmacéuticos en muestras de ríos, lagos, aguas subterráneas, pozos de agua potable, y agua del grifo en varios países. Algunos de estos fármacos son ciprofloxacino, tetraciclina, trimetoprima, ibuprofeno, naproxeno, ácido acetilsalicílico, diazepam, carbamazepina, y triclosán, entre otros, siendo los antibióticos y analgésicos los más frecuentemente identificados (Patel et al., 2019). En este contexto realizar más estudios de identificación y cuantificación de fármacos en cuerpos de agua, así como también evaluar la remoción de estos usando nuevos materiales amigables con el medio ambiente

que contribuyan a establecer concentraciones permisibles para el uso y consumo doméstico del agua.

Riesgo ecológico por fármacos residuales

En países como México, el uso de aguas residuales es un riesgo para comunidades, organismos vivos y el ecosistema, se ha documentado que su uso en el riego agrícola puede aumentar la presencia de malestares gastrointestinales en comunidades expuestas (Contreras et al., 2017), contaminando los cultivos de cereales que mantienen bajas concentraciones del residuo (de Santiago-Martín et al., 2020). Así como en peces, los cuales lo acumulan o presentan un daño celular y genético en individuos juveniles (*Cyprinus carpio*) (Pravdová et al., 2020; Pérez-Coyotl et al., 2019), afectando en la actividad metabólica microbiana del suelo (Pino-Otín et al., 2017). Además, la presencia de los residuos de manera estacional en ríos, con agua destinada para consumo humano, podría estar relacionada con brotes de enfermedades infecciosas (Hong et al., 2020).

Fármacos detectados en cuerpos de agua

El monitoreo adecuado y la remediación de efluentes clave son tareas importantes a nivel mundial, en estudios relacionados con productos farmacéuticos como contaminantes del agua se consi-

sidera su concentración, la vida media en el medio acuático o en sistemas agua-sedimento, el pKa y el coeficiente de partición octanol-agua logarítmico ($\log K_{OW}$). Además de antibióticos, analgésicos y otros fármacos, se ha cuantificado cafeína en concentraciones relativamente altas en las aguas residuales de entrada de plantas de tratamiento de aguas residuales (Paíga et al., 2019). En cuanto a su estabilidad, algunas moléculas presentan una larga vida media antes de su degradación en el medio ambiente, lo que se asocia a su estructura química estable. Además, las propiedades relacionadas con la estructura molecular son factores que influyen en la eficacia del proceso de eliminación. En general, las interacciones entre la molécula diana y un agente secuestrante (floculantes, membranas o micro/nanopartículas) dependen del pH del sistema acuoso. Cuanto menor sea el $\log K_{OW}$, mayor será la solubilidad de la sustancia en agua (Xu et al., 2021). Por lo tanto, el pKa y el $\log K_{OW}$ de un fármaco influyen en su lipofilicidad, solubilidad y unión molecular (Patel et al., 2019; Xu et al., 2021).

Estrategias para remoción de fármacos residuales

Los métodos que utilizan materiales obtenidos de fuentes renovables representan enfoques prometedores para la protección del medio ambiente y la seguridad de la salud humana (Barclay et al., 2019; Maćczak et al., 2020; Ruelas-Leyva y Picos-Corrales, 2020). Hasta la fecha, la comunidad científica que tra-

baja en esta necesidad específica del tratamiento de aguas ha propuesto diversas estrategias (como procesos de adsorción, coagulación/floculación, filtración y reacciones fotocatalíticas, entre otras) y materiales (como biopolímeros: quitosano, alginato, almidón y celulosa) para la eliminación de residuos de fármacos (Taoufik et al., 2020; Urbano et al., 2020; Wang y Wang, 2016).

Eliminación de residuos de fármacos del agua mediante materiales a base de quitosano

Los materiales basados en quitosano destacan como alternativas prometedoras para la remediación de agua debido a sus grupos funcionales ($-OH$ y $-NH_2$), que facilitan la retención de contaminantes, y a la posibilidad de modificar químicamente este polisacárido para obtener copolímeros de injerto, complejos polielectrolíticos, nanopartículas (NPs) y materiales fibrosos (NFs). En este sentido, el quitosano se ha estudiado ampliamente para el diseño de floculantes, adsorbentes y membranas (Dutta y De, 2017; Kumari et al., 2019; Lichtfouse et al., 2019). Su desempeño depende del pH, ya que el quitosano es estable y cargado positivamente a $pH < 6$, mientras que cerca de su punto isoeléctrico ($pH 7-8$) las interacciones electrostáticas dismi-

nuyen (Picos-Corrales et al., 2020). En comparación con otros biopolímeros, el quitosano muestra mayor eficiencia en la eliminación de cefoperazona, diclofenaco, dipirona y tetraciclina debido a la reactividad de sus grupos amino y a la variedad de interacciones posibles según el pH (Desbrières y Guibal, 2018; Carvalho et al., 2011; Caroni et al., 2009). También ha demostrado eficiencias cercanas al 60 % en la remoción de ciprofloxacino en diferentes condiciones de pH (Hermosillo-Ochoa et al., 2021) y un desempeño comparable o superior al policloruro de aluminio en floculación, eliminación de iones de metales pesados y reducción de turbidez (Picos-Corrales et al., 2020; Ruelas-Leyva et al., 2017). Además, materiales derivados como compuestos magnéticos, polielectrolito de quitosano alquilado, nanopartículas de hierro y nanofibras de quitosano, han mostrado altas capacidades de adsorción para diclofenaco, tetraciclina, amoxicilina, ciprofloxacina y otros fármacos (Zhang et al., 2016; Palacio et al., 2020; ALOthman et al., 2020; Niragire et al., 2023).

Conclusiones

El uso excesivo de medicamentos contribuye significativamente a la contaminación del agua, pues las plantas tratadoras de aguas residuales no tienen capacidad para eliminar este tipo de contaminantes, es decir, los efluentes de estas plantas tratadoras son uno de los principales focos de contaminación de

cuerpos de agua (p. ej. ríos). Una de las alternativas de remoción de estos contaminantes emergentes usando materiales amigables con el medio ambiente como lo es el quitosano, junto con programas sociales enfocados en la concientización del manejo adecuado para evitar los daños en la flora, fauna y la salud humana.

Agradecimientos

Kenia G. Felix-Sagaste (CVU:985631), Gonzalo de-Paz-Arroyo (CVU: 1037532), Anette López-Guardado (CVU:2160115) y Josué A. Rodríguez-Mercado (CVU:2037461) agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) de México por la Beca otorgada.

References

1. ALothman, Z. A., Badjah, A. Y., Alharbi, O. M. L., & Ali, I. (2020). Synthesis of chitosan composite iron nanoparticles for removal of diclofenac sodium drug residue in water. *International Journal of Biological Macromolecules*, 159, 870–876. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.154>
2. Barclay, T.G., Day, C.M., Petrovsky, N., Garg, S., 2019. Review of polysaccharide particle-based functional drug delivery. *Carbohydr. Polym.* 221, 94–112. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.067>
3. Bilal, M., Mehmood, S., Rasheed, T., Iqbal, H.M.N., 2020. Antibiotics traces in the aquatic environment: persistence and adverse environmental impact. *Curr. Opin. Environ. Sci. Heal.* 13, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.11.005>
4. Bu, Q., Shi, X., Yu, G., Huang, J., Wang, B., 2016. Assessing the persistence of pharmaceuticals in the aquatic environment: Challenges and needs. *Emerg. Contam.* 2, 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.05.003>
5. Caroni, A.L.P.F., de Lima, C.R.M., Pereira, M.R., Fonseca, J.L.C., 2009. The kinetics of adsorption of tetracycline on chitosan particles. *J. Colloid Interface Sci.* 340, 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.08.016>
6. Carvalho, T.O., Matias, A.E.B., Braga, L.R., Evangelista, S.M., Prado, A.G.S., 2011. Calorimetric studies of removal of nonsteroidal anti-inflammatory drugs diclofenac and dipyron from water. *J. Therm. Anal. Calorim.* 106, 475–481. <https://doi.org/10.1007/s10973-010-1243-5>
7. Contreras, J.D., Meza, R., Siebe, C., Rodríguez-Dozal, S., López-Vidal, Y.A., Castillo-Rojas, G., Amieva, R.I., Solano-Gálvez, S.G., Mazari-Hiriart, M., Silva-Magaña, M.A., Vázquez-Salvador, N., Rosas Pérez, I., Martínez Romero, L., Salinas Cortez, E., Riojas-Rodríguez, H., Eisenberg, J.N.S., 2017. Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: A 25-year update. *Water Res.* 123, 834–850. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.058>
8. de Santiago-Martín, A., Meffe, R., Teijón, G., Martínez Hernández, V., López-Heras, I., Alonso Alonso, C., Arenas Romasanta, M., de Bustamante, I., 2020. Pharmaceuticals and trace metals in the surface water used for crop irrigation: Risk to health or natural attenuation? *Sci. Total Environ.* 705, 135825. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135825>
9. Desbrières, J., Guibal, E., 2018. Chitosan for wastewater treatment. *Polym. Int.* 67, 7–14. <https://doi.org/10.1002/pi.5464>
10. Dutta, K., De, S., 2017. Smart responsive materials for water purification: An overview. *J. Mater. Chem. A* 5, 22095–22112. <https://doi.org/10.1039/c7ta07054c>
11. Hanif, H., Waseem, A., Kali, S., Qureshi, N.A., Majid, M., Iqbal, M., Ur-Rehman, T., Tahir, M., Yousaf, S., Iqbal, M.M., Khan, I.A., Zafar, M.I., 2020. Environmental risk assessment of diclofenac residues in surface waters and wastewater: a hidden global threat to aquatic ecosystem. *Environ. Monit. Assess.* 192. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8151-3>
12. Hena, S., Gutierrez, L., Croué, J.P., 2021. Removal of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) from wastewater using microalgae: A review. *J. Hazard. Mater.* 403, 124041. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124041>
13. Hena, S., Gutierrez, L., Croué, J.P., 2021. Removal of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) from wastewater using microalgae: A review. *J. Hazard. Mater.* 403, 124041. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124041>

14. Herbig, F.J.W., 2019. Talking dirty - effluent and sewage irreverence in South Africa: A conservation crime perspective. *Cogent Soc. Sci.* 5, 1701359. <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1701359>
15. Hermosillo-Ochoa, E., Picos-Corrales, L.A., Licea-Claverie, A., 2021. Eco-friendly flocculants from chitosan grafted with PNVL and PAAc: Hybrid materials with enhanced removal properties for water remediation. *Sep. Purif. Technol.* 258, 118052. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.118052>
16. Hong, B., Yu, S., Niu, Y., Ding, J., Lin, Q., Lin, X., Hu, W., 2020. Spectrum and environmental risks of residual pharmaceuticals in stream water with emphasis on its relation to epidemic infectious disease and anthropogenic activity in watershed. *J. Hazard. Mater.* 385, 121594. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121594>
17. Khaligh, N.G., Johan, M.R., 2019. Recent Advances in Water Treatment Using Graphene-based Materials. *Mini. Rev. Org. Chem.* 17, 74–90. <https://doi.org/10.2174/1570193x16666190516114023>
18. Kumari, P., Alam, M., Siddiqi, W.A., 2019. Usage of nanoparticles as adsorbents for waste water treatment: An emerging trend. *Sustain. Mater. Technol.* 22, e00128. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00128>
19. Lichtfouse, E., Morin-Crini, N., Fourmentin, M., Zemmouri, H., do Carmo Nascimento, I.O., Queiroz, L.M., Tadza, M.Y.M., Picos-Corrales, L.A., Pei, H., Wilson, L.D., Crini, G., 2019. Chitosan for direct bioflocculation of wastewater. *Environ. Chem. Lett.* 17, 1603–1621. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00900-1>
20. Maćczak, P., Kaczmarek, H., Ziegler-Borowska, M., 2020. Recent achievements in polymer bio-based flocculants for water treatment. *Materials* (Basel). 13, 3951. <https://doi.org/10.3390/ma13183951>
21. Mhuka, V., Dube, S., Nindi, M.M., 2020. Occurrence of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in wastewater and receiving waters in South Africa using LC-Orbitrap™ MS. *Emerg. Contam.* 6, 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2020.07.002>
22. Niragire, H., Kebede, T. G., Dube, S., Maaza, M., & Nindi, M. M. (2023). Chitosan-based electrospun nanofibers mat for the removal of acidic drugs from influent and effluent. *Chemical Engineering Communications*, 210(9), 1485–1507. <https://doi.org/10.1080/00986445.2022.2116321>
23. Paíga, P., Correia, M., Fernandes, M.J., Silva, A., Carvalho, M., Vieira, J., Jorge, S., Silva, J.G., Freire, C., Delerue-Matos, C., 2019. Assessment of 83 pharmaceuticals in WWTP influent and effluent samples by UHPLC-MS/MS: Hourly variation. *Sci. Total Environ.* 648, 582–600. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.129>
24. Palacio, D. A., Becerra, Y., Urbano, B. F., & Rivas, B. L. (2020). Antibiotics removal using a chitosan-based polyelectrolyte in conjunction with ultrafiltration membranes. *Chemosphere*, 258, 127416. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127416>
25. Patel, M., Kumar, R., Kishor, K., Misra, T., Pittman, C.U., Mohan, D., 2019. Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: Chemistry, occurrence, effects, and removal methods. *Chem. Rev.* 119, 3510–3673. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00299>
26. Pérez-Coyotl, I., Galar-Martínez, M., García-Medina, S., Gómez-Oliván, L.M., Gasca-Pérez, E., Martínez-Galero, E., Islas-Flores, H., Pérez-Pastén, B.R., Barceló, D., López de Alda, M., Pérez-Solsona, S., Serra-Roig, M.P., Montemurro, N., Peña-Herrera, J.M., Sánchez-Aceves, L.M., 2019. Polluted water from an urban reservoir (Madín dam, México) induces toxicity and oxidative stress in *Cyprinus carpio* embryos. *Environ. Pollut.* 251, 510–521. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.095>

27. Picos-Corrales, L.A., Sarmiento-Sánchez, J.I., Ruelas-Leyva, J.P., Crini, G., Hermosillo-Ochoa, E., Gutierrez-Montes, J.A., 2020. Environment-Friendly Approach toward the Treatment of Raw Agricultural Wastewater and River Water via Flocculation Using Chitosan and Bean Straw Flour as Bioflocculants. *ACS Omega* 5, 3943–3951.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03419>
28. Pino-Otín, M.R., Muñiz, S., Val, J., Navarro, E., 2017. Effects of 18 pharmaceuticals on the physiological diversity of edaphic microorganisms. *Sci. Total Environ.* 595, 441–450.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.002>
29. Pravdová, M., Kolářová, J., Grabicová, K., Mikl, L., Bláha, M., Randák, T., Kvach, Y., Jurajda, P., Ondračková, M., 2020. Associations between pharmaceutical contaminants, parasite load and health status in brown trout exposed to sewage effluent in a small stream. *Ecohydrol. Hydrobiol.*
<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.09.001>
30. Rivera-Jaimes, J.A., Postigo, C., Melgoza-Alemán, R.M., Aceña, J., Barceló, D., López de Alda, M., 2018. Study of pharmaceuticals in surface and wastewater from Cuernavaca, Morelos, Mexico: Occurrence and environmental risk assessment. *Sci. Total Environ.* 613–614, 1263–1274.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.134>
31. Ruelas-Leyva, J.P., Contreras-Andrade, I., Sarmiento-Sánchez, J.I., Licea-Claverie, A., Jiménez-Lam, S.A., Cristerna-Madriral, Y.G., Picos-Corrales, L.A., 2017. The Effectiveness of *Moringa oleifera* Seed Flour and Chitosan as Coagulant-Flocculants for Water Treatment. *Clean - Soil, Air, Water* 45, 1600339.
<https://doi.org/10.1002/clen.201600339>
32. Ruelas-Leyva, J.P., Picos-Corrales, L.A., 2020. Lactides and Lactones Yielding Eco-Friendly and Biocompatible Polymers by Metal-Catalyzed Ring-Opening Polymerization. *Mini. Rev. Org. Chem.*
<https://doi.org/10.2174/1570193x17999201006200429>
33. Straub, J.O., Caldwell, D.J., Davidson, T., D'Aco, V., Kappler, K., Robinson, P.F., Simon-Hettich, B., Tell, J., 2019. Environmental risk assessment of metformin and its transformation product guanyurea. I. Environmental fate. *Chemosphere* 216, 844–854.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.036>
34. Subedi, B., Balakrishna, K., Sinha, R.K., Yamashita, N., Balasubramanian, V.G., Kannan, K., 2015. Mass loading and removal of pharmaceuticals and personal care products, including psychoactive and illicit drugs and artificial sweeteners, in five sewage treatment plants in India. *J. Environ. Chem. Eng.* 3, 2882–2891.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.09.031>
35. Tahrani, L., Mehri, I., Reyns, T., Anthonissen, R., Verschaeve, L., Khalifa, A.B.H., Van Loco, J., Abdenaceur, H., Mansour, H. Ben, 2018. UPLC-MS/MS analysis of antibiotics in pharmaceutical effluent in Tunisia: ecotoxicological impact and multi-resistant bacteria dissemination. *Arch. Microbiol.* 200, 553–565.
<https://doi.org/10.1007/s00203-017-1467-x>
36. Taoufik, N., Boumya, W., Janani, F.Z., Elhalil, A., Mahjoubi, F.Z., Barka, N., 2020. Removal of emerging pharmaceutical pollutants: A systematic mapping study review. *J. Environ. Chem. Eng.* 8, 104251.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104251>
37. Urbano, B.F., Bustamante, S., Palacio, D.A., Vera, M., Rivas, B.L., 2020. Polymer supports for the removal and degradation of hazardous organic pollutants: an overview. *Polym. Int.* 69, 333–345.
<https://doi.org/10.1002/pi.5961>
38. Üstün-Odabaşı, S., Maryam, B., Özdemir, N., Büyükgüngör, H., 2020. Occurrence and seasonal variations of pharmaceuticals and personal care products in drinking water and wastewater treatment plants in Samsun, Turkey. *Environ. Earth Sci.* 79.
<https://doi.org/10.1007/s12665-020-09047-7>

39. Walters, E., McClellan, K., Halden, R.U., 2010. Occurrence and loss over three years of 72 pharmaceuticals and personal care products from biosolids-soil mixtures in outdoor mesocosms. *Water Res.* 44, 6011–6020. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.07.051>
40. Wang, J., Wang, S., 2016. Removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from wastewater: A review. *J. Environ. Manage.* 182, 620–640. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.049>
41. Xiao, Y., Shao, X.T., Tan, D.Q., Yan, J.H., Pei, W., Wang, Z., Yang, M., Wang, D.G., 2019. Assessing the trend of diabetes mellitus by analyzing metformin as a biomarker in wastewater. *Sci. Total Environ.* 688, 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.117>
42. Xu, L., Zhang, H., Xiong, P., Zhu, Q., Liao, C., Jiang, G., 2021. Occurrence, fate, and risk assessment of typical tetracycline antibiotics in the aquatic environment: A review. *Sci. Total Environ.* 753, 141975. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141975>
43. Zafar, R., Bashir, S., Nabi, D., Arshad, M., 2020. Occurrence and quantification of prevalent antibiotics in wastewater samples from Rawalpindi and Islamabad, Pakistan. *Sci. Total Environ.* 142596. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142596>
44. Zhang, S., Dong, Y., Yang, Z., Yang, W., Wu, J., & Dong, C. (2016). Adsorption of pharmaceuticals on chitosan-based magnetic composite particles with core-brush topology. *Chemical Engineering Journal*, 304, 325–334. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.087>