

La química click como potencial herramienta para remediar la contaminación en el lago de Chapala

Click chemistry as a potential tool to remediate contamination in Lake Chapala

Edwin Bladimir Bonilla Ascencio^a, Víctor Daniel Carrera Rentería^b,
Osiris Farias Elvira^c, Maite Rentería Urquiza^d

RESUMEN

El lago de Chapala, el cuerpo de agua dulce más grande de México enfrenta problemas significativos de contaminación, debido a la descarga de diferentes efluentes que aportan una serie de contaminantes, alterando así el ecosistema y todas las especies vivas que de él dependen de manera directa o indirecta. Este plan de acción propone la implementación de tecnologías avanzadas para la reducción de estos contaminantes; utilizando materiales funcionalizados mediante química click, y de esta forma, mejorar la calidad del agua y proteger la salud pública.

Palabras clave: remediación, química click, lago de Chapala, contaminación de aguas.

ABSTRACT

Lake Chapala, the largest freshwater body in Mexico, faces significant pollution problems due to the discharge of different effluents that contribute a series of pollutants, thus altering

^a Estudiante Maestría en Ciencias en Química. CUCEI, Universidad de Guadalajara, México. e-mail: edwin.bonilla8566@alumnos.udg.mx

^b Estudiante Maestría en Ciencias en Química. CUCEI, Universidad de Guadalajara, México. e-mail: victor.carrera8565@alumnos.udg.mx

^c Estudiante Maestría en Ciencias en Química. CUCEI, Universidad de Guadalajara, México. e-mail: osiris.farias8567@alumnos.udg.mx

^d Profesor investigador Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenieras, Universidad de Guadalajara, México. e-mail: maite.rurquiza@academicos.udg.mx

the ecosystem and all living species that depend on it directly or indirectly. This action plan proposes the implementation of advanced technologies for the reduction of these pollutants; using functionalized materials through click chemistry, and in this way, improve water quality and protect public health.

Keywords: remediation, click chemistry, Lake Chapala, water pollution.

INTRODUCCIÓN

El lago de Chapala se encuentra entre los estados de Jalisco (86%) y Michoacán (14%); cuenta con una capacidad de 7,897 millones de m³ y una superficie de 114,659 hectáreas, siendo la principal fuente de agua potable para el área metropolitana de Guadalajara ^[1]. Este lago está expuesto principalmente a la contaminación producida por las actividades antropogénicas que se desarrollan a su alrededor. Se ha documentado la presencia de contaminantes tanto en los efluentes como en el seno del lago, entre los que destacan: plaguicidas ^[2], metales pesados ^[3, 4], compuestos activos de fármacos ^[5] y microplásticos ^[6]. A pesar de contar con regulaciones sobre los niveles permisibles en descargas de aguas residuales en cuerpos de agua ^[7, 8], el lago de Chapala sigue siendo uno de los cuerpos de agua más contaminados del país.

La presencia de estos contaminantes plantea riesgos para la salud pública, incluyendo enfermedades como asma, cáncer, daños neurológicos, entre otras ^[9]. Por lo tanto, es de suma importancia desarrollar mecanismos que faciliten la remoción de estos, así como la regulación de las fuentes de contaminación. Proponer acciones de remediación con procesos basados en la síntesis química, sin residuos, y de bajo costo, es indispensable para resolver de manera responsable y sin efectos colaterales, esta problemática; una alternativa potencial que cumple estas características es el desarrollo de materiales mediante química click.

Esta nueva forma de hacer síntesis química, documentada de manera simultánea, durante los años 2,000, por los profesores Peter Morten Meldal y Barry Sharpless, *permite*

unir moléculas de manera eficiente y modular para obtener productos sin desechos considerables^[10], siendo esta una de las principales características que motiva y permite desarrollar nuevos materiales potencialmente escalables.

Debido a las innumerables ventajas que trae consigo la química click en el desarrollo de materiales; muchas compañías la han integrado en sus procesos de investigación; desde el desarrollo de nuevos fármacos antivirales, como en el caso de Pfizer y Merck & Co ^[11, 12], el desarrollo de conjugados anticuerpo-fármaco (ADC) en Genentech ^[13] y la optimización de procesos de síntesis para mejorar materiales con diversas aplicaciones, producidas en BASF ^[14]. Además, instituciones como el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), centran esfuerzos en las ventajas de la química click para desarrollar nuevos materiales para la purificación del agua y la remediación ambiental ^[15]. UNAM/CINVESTAV están investigando aplicaciones de la química click en biomedicina y materiales avanzados ^[16]. Incluso gobiernos como el de Estados Unidos, han financiado proyectos de investigación promoviendo su uso en biomedicina y otras áreas ^[17-22].

PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA EN EL LAGO DE CHAPALA

En respuesta al problema ambiental en el lago de Chapala, se propone el desarrollo de tecnologías avanzadas utilizando la química click, que permitan la remoción de los contaminantes mencionados, y mejorar así la calidad, del agua del lago y, de todas las actividades que de este se derivan, con el fin de proteger la salud pública.

Existen estudios de materiales sintetizados mediante química click que nos pueden ayudar, por ejemplo:

Estructuras macrocíclicas: utilizando azúcares como precursores, es posible desarrollar arquitecturas moleculares macrocíclicas mediante la reacción de cicloadición azida-alquino catalizada por cobre (I) (CuAAC). Esta reacción de química click, permite la formación eficiente y selectiva de enlaces triazólicos entre azidas y alquinos en condiciones suaves ^[10].

Estas estructuras macrocíclicas presentan propiedades que permiten la remoción de moléculas pequeñas, como es el caso de los contaminantes emergentes, mediante mecanismos análogos a los observados en las ciclodextrinas.^[10] Los grupos funcionales

presentes en toda la arquitectura macrocíclica podrían facilitar su derivatización a través de reacciones adicionales convencionales, permitiendo la inserción de nuevas funcionalidades y optimizando el desempeño, en procesos de remoción de contaminantes.

Para el caso del lago de Chapala, la idea plantea el desarrollo de una amplia gama de macrociclos con propiedades adaptables, capaces de implementar mecanismos de remoción multifacéticos según el tipo de contaminante a tratar, como pesticidas, fármacos, metales tóxicos, entre otros.

Además, cada macroestructura puede ser anclada, mediante reacciones conocidas, a andamiajes móviles prediseñados para su aplicación en focos específicos de contaminación, previamente identificados, ya sea dentro del lago o en otros efluentes que contribuyen a la contaminación.

CONCLUSIÓN

El problema de contaminación del lago de Chapala representa un impacto negativo en el ámbito social, económico y de salud pública. Por ello, se deben implementar acciones correctivas que faciliten la eliminación de la contaminación existente en este cuerpo de agua. Sin embargo, se requieren acciones preventivas que aseguren la calidad de este recurso hídrico para las generaciones futuras; esto exige el consenso y compromiso entre los principales actores: gobierno, industria, academia y sociedad, cuya sinergia permitiría encontrar rutas eficientes y viables para resolver esta problemática.

REFERENCIAS

- Comisión Estatal del Agua Jalisco - Lago de Chapala. (1 de octubre de 2024). CEA Jalisco. <https://www.ceajalisco.gob.mx/contenido/chapala/>
- Silva-Madera, R. J., Salazar-Flores, J., Peregrina-Lucano, A. A., Mendoza-Michel, J., Ceja-Gálvez, H. R., Rojas-Bravo, D., ... Torres-Sánchez, E. D. (2021). Pesticide Contamination in Drinking and Surface Water in the Cienega, Jalisco, Mexico. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(2). doi:10.1007/s11270-021-04990-y
- Rueda-Garzon, L. F., Miranda-Avilés, R., Carrillo-Chávez, A., Puy-Alquiza, M. J., Morales-

- Martínez, J. L., & Zanor, G. (2022). Contamination assessment and potential sources of heavy metals and other elements in sediments of a basin impacted by 500 years of mining in central Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10), 729.
- Maldonado-Villegas, M. M., Ramírez-Hernández, B. C., Torres-Morán, M. I., Álvarez-Moya, C., Zarazúa-Villaseñor, P., & Velasco-Ramírez, A. P. (2020). Presence of arsenic and potentially toxic metals (Cd, Cr, Pb) in water and soil of the NE shore of Chapala Lake, Mexico, and its genotoxic effect in the edible chayote fruit (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.). *European Journal of Horticultural Science*, 85(2), 110-117.
- Peregrina-Lucano, A. A., Mendoza-Michel, J., Rodríguez-Arreola, A., & Peña-Velasco, G. (2024). Detection of pharmaceutically active compounds in tap water samples by direct injection HPLC/MS-MS: A danger signal in deficiency in residue management. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 112(5), 67.
- Padilla-Jiménez, S. M., Moncayo-Estrada, R., Maruri, D. T., & Álvarez-Bernal, D. (2024). Microplastic evidence assessment from water and sediment sampling in a shallow tropical lake. *Water Environment Research*, 96(9), e11123.
- NOM-001-SEMARNAT-2021. (2021). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.
- SEMARNAT. (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. *Diario oficial de la Federación*.
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the total environment*, 575, 525-535.
- Pasini, D. (2013). The Click Reaction as an Efficient Tool for the Construction of Macrocyclic Structures. *Molecules*, 18(8), 9512-9530. <https://doi.org/10.3390/molecules18089512>.
- France SP, Lewis RD, Martínez CA. The Evolving Nature of Biocatalysis in Pharmaceutical Research and Development. *JACS Au*. 2023 feb 27;3(3):715-735. doi:10.1021/jacsau.2c00712. PMID: 37006753; PMCID: PMC10052283.
- Ruck, R. T.; Strotman, N. A.; Krska, S. W. The Catalysis Laboratory at Merck: 20 Years of Catalyzing Innovation. *ACS Catal*. 2023, 13 (1), 475– 503, DOI:10.1021/acscatal.2c05159.

- Ruan DY, Wu HX, Meng Q, Xu RH. Development of antibody-drug conjugates in cancer: Overview and prospects. *Cancer Commun (Lond)*. 2024 Jan;44(1):3-22. doi:10.1002/cac2.12517. Epub 2023 Dec 30. PMID: 38159059; PMCID: PMC10794012.
- Agathe Mouren, Luc Avérous. Sustainable cycloaliphatic polyurethanes: from synthesis to applications. *Chemical Society Reviews*, 2022, 52 (1), pp.277-317. ff10.1039/D2CS00509Cff. ffhal-04018708f.
- Yilin Zhang, Hui Sun, Yunteng Cao, Maxwell J. Kalinowski, Meng Li, and Benedetto Marelli. Directed Assembly of Proteinaceous–Polysaccharide Nanofibrils to Fabricate Membranes for Emerging Contaminant Remediation. *ACS Nano* 2024 18 (36), 25205-25215. DOI: 10.1021/acsnano.4c07409.
- Guadarrama, P., López-Méndez, L. J., Cabrera-Quñones, N. C. y Cruz-Hernández, C. A. (2023, enero-marzo). Versátil como ninguna, la química clic y su trascendencia en áreas diversas: de la ciencia de materiales a la investigación farmacéutica. *Educación Química*, 34 (1). <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.1.84649>.
- Kolb, H. C., Finn, M. G., & Sharpless, K. B. (2001). Click chemistry: Diverse chemical function from a few good reactions. *Angewandte Chemie International Edition*, 40(11), 2004–2021.
- Rostovtsev, V. V., Green, L. G., Fokin, V. V., & Sharpless, K. B. (2002). A stepwise Huisgen cycloaddition process: Copper(I)-catalyzed regioselective “ligation” of azides and terminal alkynes. *Angewandte Chemie International Edition*, 41(14), 2596–2599.
- Tornøe, C. W., Sengeløv, H., & Meldal, M. (2002). Peptidotriazoles on solid phase: [1,2,3]-Triazoles by regiospecific copper(I)-catalyzed 1,3-dipolar cycloadditions of terminal alkynes to azides. *Journal of Organic Chemistry*, 67(9), 3057–3064.
- Agard, N. J., Prescher, J. A., & Bertozzi, C. R. (2004). A strain-promoted [3 + 2] azide–alkyne cycloaddition for covalent modification of biomolecules in living systems. *Journal of the American Chemical Society*, 126(46), 15046–15047.
- Laughlin, S. T., Baskin, J. M., Amacher, S. L., & Bertozzi, C. R. (2008). In vivo imaging of membrane associated glycans in developing zebrafish. *Science*, 320(5876), 664–667.
- Hang, H. C., Yu, C., Ten Hagen, K. G., Tian, E., Winans, K. A., Tabak, L. A., & Bertozzi, C. R. (2004). Small molecule inhibitors of mucin-type O-glycosylation from a uridine-based library. *Chemistry & Biology*, 11(7), 1009–1016.T