

La química click: hacia una agroquímica más sostenible en México

Click chemistry: towards a more sustainable agrochemistry in Mexico

Jonathan Mendoza Guzman^a y Morelia Eunice López Reyes^b

RESUMEN

La agricultura mexicana es vital para la economía, pero enfrenta grandes desafíos ambientales. La química click ofrece una alternativa para desarrollar agroquímicos más sostenibles, como triazoles y/o otros derivados, simplificando su síntesis y reduciendo la generación de residuos. No obstante, su implementación enfrenta obstáculos como falta de infraestructura y capacitación. Promover la colaboración entre universidades e industrias, junto con un marco político favorable, puede transformar la agroquímica en México, beneficiando a los agricultores y al medio ambiente.

Palabras clave: Química click, Agroquímicos, sostenible, Colaboración, Desarrollo agrícola

ABSTRACT

Mexican agriculture is vital to the economy, but faces major environmental challenges. Click chemistry offers an alternative to develop more sustainable agrochemicals, such as triazoles

^a Alumno del Centro Universitario de Ciencias Exactas en Ingenierías (CUCEI). e-mail: jonathan.mguzman@alumnos.udg.mx

^b Profesora Investigadora, Departamento de Química, CUCEI - Universidad de Guadalajara e-mail: morelia.lopez@academicos.udg.mx

and/or other derivatives, simplifying their synthesis and reducing waste generation. However, its implementation faces obstacles such as lack of infrastructure and training. Promoting collaboration between universities and industry, together with a favorable policy framework, can transform agrochemicals in Mexico, benefiting farmers and the environment.

Keywords: *Click chemistry, Agrochemicals, sustainable, Collaboration, Agricultural development.*

INTRODUCCIÓN

La agricultura es un sector esencial para la economía mexicana, generando empleo y alimento para millones de personas (Monterroso, et al., 2012; Romero, 2002). Sin embargo, enfrenta desafíos significativos, como la necesidad de mantener un aumento de la producción y la protección el medio ambiente. En este contexto, la química click se presenta como una herramienta innovadora que puede ayudar en el desarrollo de nuevos agroquímicos, ofreciendo soluciones más sostenibles que minimicen el impacto ambiental y maximicen la productividad.

México es un país que ha experimentado un uso intensivo de agroquímicos, que han conducido a problemas graves, como la degradación del suelo, la contaminación del agua y la resistencia de plaga (Aguilar & Pérez, 2008; Alvarado & Romero, 2024; Espinosa-Calderón, 2024; Genevieve et al., 2020; Monterroso et al., 2012). Por ejemplo, pesticidas como el glifosato son efectivos, pero sus efectos nocivos en la salud humana y el medio ambiente han sido ampliamente cuestionados (Sánchez et al., 2024). Del mismo modo, el uso de fungicidas y fertilizantes nitrogenados convencionales puede provocar problemas de contaminación. Esto resalta la necesidad urgente de desarrollar agroquímicos que sean tanto efectivos como sostenibles. Por lo cual, la colaboración entre universidades y empresas es esencial para impulsar la innovación de la agroquímica mexicana. La transferencia de tecnología, como lo destacan las aportaciones de K. Barry Sharpless y Morten Meldal en el desarrollo de la

química click, permitirán que la investigación científica se traduzca en aplicaciones prácticas para la obtención de agroquímicos que impacten positivamente en el medio ambiente.

QUÍMICA CLICK: UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE

La química click se basa en reacciones rápidas y altamente selectivas que permiten la formación de enlaces de manera eficiente, manteniendo una economía atómica (Düzleyen et al., 2024). Este enfoque reduce el número de pasos en la síntesis de compuestos y minimiza la producción de residuos, haciéndolo ideal para el desarrollo de nuevos agroquímicos. La química click facilita la creación de productos específicos que pueden abordar las necesidades particulares de los cultivos mexicanos donde por ejemplo podrían utilizarse los grupos azida, para desarrollar métodos más sencillos y menos contaminantes para la obtención de fungicidas funcionalizados como los triazoles.

IMPORTANCIA DE LOS TRIAZOLES

Los triazoles (Figura 1), son un grupo de compuestos nitrogenados que se utilizan ampliamente como fungicidas en la agricultura. Su eficacia en el control de enfermedades fúngicas los convierte en herramientas valiosas para aumentar la productividad de los cultivos (Rani et al., 2024; Song et al., 2024; Vaishnani et al., 2024).

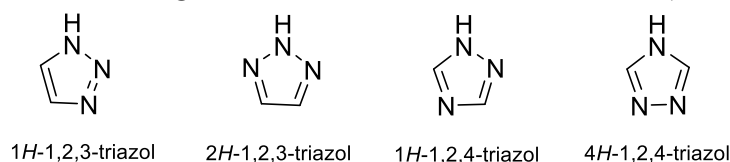


Figura 1. Triazoles.

Sin embargo, la síntesis de triazoles convencionales, como el tebuconazol (Figura 2), a menudo implica procesos complejos y costosos. Por ejemplo, existen diferentes síntesis convencionales para la obtención del tebuconazol, pero en general todas y cada una de ellas requiere un proceso de varios pasos y con condiciones severas, lo que puede generar una cantidad significativa de residuos (Díaz et al., 2016).

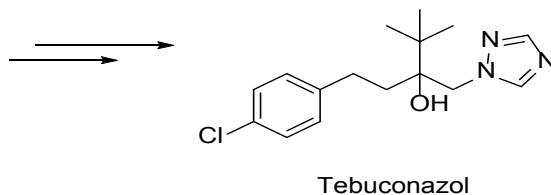


Figura 2. Tebuconazol.

Por ello una estrategia basada en química click podría involucrar la reacción de un compuesto que contenga un grupo azida, el cual se hace reaccionar con un alquino en presencia de un catalizador adecuado. Este enfoque simplificaría la síntesis de triazoles, permitiendo la formación de enlaces carbono-nitrógeno de manera eficiente y en un solo paso. De esta forma podrían obtenerse una gran cantidad de derivados de triazoles funcionalizados para una síntesis convergente destinada a la obtención de agroquímicos.

DESARROLLO DE FERTILIZANTES Y PESTICIDAS

Además de la síntesis de triazoles, la química click también puede ser aplicada en el desarrollo de fertilizantes nitrogenados. Alternativos a la urea la cual se disuelven rápidamente en el suelo, lo que puede llevar a la pérdida de nutrientes a través de la escorrentía. Por otra parte, a partir de los grupos azidas, se pueden diseñar fertilizantes que liberación controlada de nitrógeno. A través de la selección de materias primas adecuadas y de fácil acceso. Este es un punto importante para considerar, ya que al comparar las condiciones de reacción relativamente simples de la reacción de Sharpless (Lastres, 2022; Wasserman, 2022), en contraste a al gasto enorme de energía del proceso industrial para la obtención de la urea (Robles, 2015; Silva & Quesada, 2015). Proceso que implica la ruptura de un enlace triple nitrógeno-nitrógeno con un alto costo energético a pesar de ser una reacción catalizada para obtener la fuente de nitrógeno.

RETOS EN LA IMPLEMENTACIÓN

A pesar de las ventajas que ofrece la química click, su adopción en la agroquímica mexicana enfrenta desafíos. La falta de infraestructura para la investigación y el desarrollo,

así como la escasez de capacitación para los agricultores en el uso de nuevos productos, son obstáculos importantes. Además, es fundamental que los nuevos agroquímicos sean accesibles y asequibles, especialmente para los pequeños productores que representan una gran parte del sector agrícola. Conjuntamente para que la química click tenga un impacto significativo en la agroquímica de México, es necesario contar con un marco político que promueva la investigación, la educación y la transferencia de tecnología. Fomentar la colaboración entre universidades, centros de investigación y la industria puede acelerar el desarrollo de soluciones innovadoras. Asimismo, es esencial incluir a los agricultores en el proceso de desarrollo para garantizar que las soluciones respondan a sus necesidades.

CONCLUSIÓN

La química click ofrece una oportunidad única para transformar la agroquímica en México, permitiendo el desarrollo de productos más sostenibles y efectivos. Al abordar los desafíos actuales de la agricultura, esta metodología puede contribuir a una producción más responsable que beneficie tanto a los agricultores mexicanos como al ecosistema por medio de la reducción de contaminantes. Sin embargo, su éxito dependerá de un enfoque colaborativo que incluya a todos los actores del sector agrícola y de políticas que promuevan la innovación y la sostenibilidad. De esta forma la agroquímica podrá contribuir en la construcción un futuro agrícola próspero y sostenible para México.

REFERENCIAS

- Aguilar, A. & Pérez, R. H. (2008). La contaminación agrícola del agua en México: retos y perspectivas. *Problemas del desarrollo*, 39(153), 205–215.
- Alvarado, R. A. R. & Romero, M. Á. M. (2024). Perfil actual del consumidor agroecológico de Colima, México. *Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica*, 4(1), 74–97.
- Díaz B., V., Medina, D. I., Padilla, E., Bortolini, R., Olvera, M. & Luna, G. (2016). Nanoemulsion formulations of fungicide tebuconazole for agricultural applications. *Molecules*, 21(10), 1271.
- Düzleyen, B., Karakaya, G. & Aytemir, M. (2024). The Use of Click Chemistry in Drug

- Development Applications. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy, Special Issue/International Multidisciplinary Symposium on Drug Research and Development, DRD-2023*, 54–63.
- Espinosa, A. (2024). Sustitución de agroquímicos para promover la sostenibilidad de los recursos agua, suelo, biota. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 42.
- Genevieve, A., Pasquier M., & Bertran M., (2020). La agricultura en México: desempeño económico. *Alimentación, salud y sustentabilidad: hacia una agenda de investigación*. Universidad Nacional Autónoma de México, 117.
- Lastres, L. (2022). Premio Nobel de Química 2022. *Educación en la Química*, 28(02), 170–180.
- Monterroso, A. I., Conde, A. C., Gay, C., Gómez, J. D. & López, J. (2012). Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México. *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A*; 8.
- Rani, S., Teotia, S. & Nain, S. (2024). Recent Advancements and Biological Activities of Triazole Derivatives: a Short Review. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 1–9.
- Robles, M. D. R. (2015). Proceso de Haber-Bosch. Síntesis de amoníaco. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, 17, 3–7.
- Romero, E. (2002). *Un siglo de agricultura en México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones.
- Sánchez, E. D. T., Gutiérrez, C. A. F., Jasso, J. H. T., Uribe, E. R. & Flores, J. S. (2024). Exposición laboral a plaguicidas y la salud en agricultores Ciénega, Jalisco, México.: Agricultores expuestos a plaguicidas. *Revista Bio Ciencias*, 11.
- Silva, R. E. & Quesada, B. (2015). El Proceso Haber-Bosch en la Sociedad Agroindustrial: Peligros y Alternativas. *El Otro Derecho*, 42(1), 75–96.
- Song, H., Wang, S., Cai, Q. & Chen, J. (2024). Research progress of triazole derivatives in the discovery of agricultural chemicals. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 61(2), 365–386.
- Vaishnani, M. J., Bijani, S., Rahamathulla, M., Baldaniya, L., Jain, V., Thajudeen, K. Y., Ahmed, M. M., Farhana, S. A. & Pasha, I. (2024). Biological importance and synthesis of 1, 2, 3-triazole derivatives: a review. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 17(1), 2307989.
- Wasserman, M. (2022). La síntesis química” click” y la” bioortogonal” ganan el premio Nobel 2022. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46(181), 999–1001.