

Interferencias del Metsulfurón-metilo en el desarrollo y supervivencia de *Daphnia magna* (Bioindicador de ecosistemas acuáticos)

*Interferences of Metsulfuron-methyl in the development and survival of *Daphnia magna* (Bioindicator of aquatic ecosystems)*

Angel Virgilio Cedeño Moreira, Ketty Vanessa Arellano Ibarra, Oscar Oswaldo Prieto Benavides, Edwin Miguel Jiménez Romero

Resumen

Este estudio se enfocó en evaluar la respuesta de *Daphnia magna* a la exposición secuencial de Metsulfuron-methyl, un herbicida ampliamente utilizado. La metodología incluyó el aislamiento de organismos de un reservorio de agua en el campus experimental La María, seguido de su traslado a un entorno acuoso controlado. El desarrollo poblacional se monitoreó mediante la cuantificación de nuevas generaciones de juveniles cada 10 días, revelando un crecimiento exponencial del 65% al 68% a los 40 y 50 días respectivamente. La mortalidad a exposición controlada de Metsulfuron-methyl indicó una relación directa entre la dosis del herbicida y la supervivencia de *D. magna*, con concentraciones superiores a 2000 mg/L durante 72 horas resultando en mortalidad superior al 50%, alcanzando un máximo del 72% a 3500 mg/L. La exposición a 2000 mg/L durante 10 días redujo la tasa de reproducción a un 6%, mientras que 15 y 20 días resultaron en la completa inhibición. Estos hallazgos resaltan la sensibilidad de *D. magna* a concentraciones elevadas de Metsulfuron-methyl y sugieren impactos significativos en su desarrollo, supervivencia y reproducción. Este estudio contribuye a la comprensión de los efectos de este herbicida en organismos acuáticos, resaltando la importancia de regulaciones ambientales y prácticas agrícolas sostenibles.

Palabras clave: toxicidad; herbicida; contaminación acuática; ecotoxicología; microcrustáceos.

Angel Virgilio Cedeño Moreira

Universidad Técnica Estatal de Quevedo | Quevedo | Ecuador | acedenom@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6564-5569>

Ketty Vanessa Arellano Ibarra

Universidad Técnica Estatal de Quevedo | Quevedo | Ecuador | arellanok67@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7168-7485>

Oscar Oswaldo Prieto Benavides

Universidad Técnica Estatal de Quevedo | Quevedo | Ecuador | oprieto@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4101-0523>

Edwin Miguel Jiménez Romero

Universidad Técnica Estatal de Quevedo | Quevedo | Ecuador | ejimenez@uteq.edu.ec
<http://orcid.org/0000-0002-7411-8189>

<http://doi.org/10.46652/rgn.v9i42.1231>

ISSN 2477-9083

Vol. 9 No. 42 octubre-diciembre, 2024, e2401231

Quito, Ecuador

Enviado: agosto 14, 2024

Aceptado: octubre 07, 2024

Publicado: noviembre 17, 2024

Publicación Continua



Abstract

This study aimed to assess the response of *Daphnia magna* to sequential exposure to Metsulfuron-methyl, a widely used herbicide. The methodology involved isolating organisms from a water reservoir at the La María experimental campus, followed by their transfer to a controlled aquatic environment. Population development was monitored by quantifying new generations of juveniles every 10 days, revealing an exponential growth from 65% to 68% at 40 and 50 days, respectively. Controlled exposure mortality to Metsulfuron-methyl indicated a direct relationship between the herbicide dose and the survival of *D. magna*, with concentrations exceeding 2000 mg/L for 72 hours resulting in mortality exceeding 50%, reaching a peak of 72% at 3500 mg/L. Exposure to 2000 mg/L for 10 days reduced the reproduction rate to 6%, while 15 and 20 days resulted in complete inhibition. These findings highlight the sensitivity of *D. magna* to elevated concentrations of Metsulfuron-methyl and suggest significant impacts on its development, survival, and reproduction. This study contributes to understanding the effects of this herbicide on aquatic organisms, emphasizing the importance of environmental regulations and sustainable agricultural practices.

Keywords: toxicity; herbicide; water contamination; ecotoxicology; microcrustaceans.

Introducción

La conservación de los ecosistemas acuáticos es una prioridad ineludible a nivel global, dada la inmensa importancia que estos entornos tienen para la biodiversidad, el ciclo del agua y la calidad de vida de la humanidad (Lobo et al. 2021; Mishra, 2023). Los cuerpos de agua dulce, en particular, albergan una variedad de organismos que, debido a su posición en la cadena alimentaria y su rápida respuesta a los cambios ambientales, se han convertido en valiosos bioindicadores de la salud de estos sistemas acuáticos (Sonone et al., 2020). Entre estos organismos, *Daphnia magna*, un pequeño crustáceo planctónico, se destaca como un bioindicador altamente sensible y de gran utilidad en la evaluación de la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos (Rodrigues et al., 2021).

En la intersección de la conservación de los ecosistemas acuáticos y la química ambiental surge una preocupación creciente: la presencia y los efectos de contaminantes químicos en los cuerpos de agua (Rand et al., 2020). Estos contaminantes pueden provenir de diversas fuentes, como la agricultura, la industria y el uso doméstico, y tienen el potencial de desencadenar una cascada de consecuencias negativas para los ecosistemas acuáticos y, en última instancia, para la vida en la Tierra (Nilsen et al., 2019). Uno de estos contaminantes que ha generado una atención significativa es el Metsulfuron-metilo, un herbicida utilizado en la agricultura y la silvicultura para controlar una amplia variedad de malezas (Wolejko et al., 2022).

El Metsulfuron-metilo, un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura y la silvicultura debido a su destacada eficacia en la eliminación de malezas no deseadas, ha generado preocupaciones significativas en la comunidad científica y ambientalista (Galon et al., 2023), por consiguiente, su inquietante potencial para dispersarse en el medio ambiente y su capacidad de infiltrarse en las fuentes de agua dulce plantean desafíos sustanciales en términos de seguridad ambiental (Pacholczak et al., 2017). Este herbicida, que opera a un nivel molecular dentro de las plantas, es un componente fundamental en las estrategias de control de malezas en campos agrícolas y áreas forestales. Sin embargo, su impacto más allá de su objetivo inicial es motivo de gran preocupación (Pacholczak, 2017).

La entrada de Metsulfuron-metilo en los cuerpos de agua se produce principalmente a través de dos vías críticas. La primera es la escorrentía agrícola, donde el herbicida, aplicado en campos cercanos, puede ser arrastrado por el agua de lluvia o el riego hacia arroyos, ríos y cuerpos de agua cercanos (Gonzalo et al., 2022). Esta escorrentía puede ser especialmente problemática en paisajes agrícolas intensivos, donde se emplean grandes cantidades de productos químicos para mantener la productividad de los cultivos (Slaby et al., 2022).

La segunda vía es el lavado de áreas tratadas, como bordes de carreteras o áreas industriales donde se utiliza Metsulfuron-metilo (Zhong et al., 2023). Cuando llueve o se riega en estas áreas, los residuos del herbicida pueden lavarse y transportarse hacia los sistemas acuáticos circundantes, lo que agrega una preocupación adicional sobre su impacto en la salud de los ecosistemas acuáticos (Campillo et al., 2022).

Estas dos rutas de entrada plantean interrogantes cruciales sobre cómo el Metsulfuron-metilo podría influir en la calidad del agua y, lo que es aún más importante, en la vida que habita en estos entornos acuáticos (Mojiri et al., 2020). Dentro de este contexto, uno de los organismos clave para comprender el impacto del herbicida en los ecosistemas acuáticos es *Daphnia magna*, un bioindicador sensible que responde rápidamente a las variaciones en su entorno (Klementová et al., 2019).

La magnitud de la preocupación en torno al Metsulfuron-metilo radica en su capacidad para actuar a nivel molecular en las plantas (Zhao et al., 2017). Este herbicida inhibe específicamente una enzima crucial para la síntesis de aminoácidos en las plantas, interfiriendo en su capacidad de crecimiento y desarrollo (Chowdhary et al., 2022). Sin embargo, esta precisión a nivel molecular en su modo de acción plantea la cuestión de si los efectos en las plantas pueden extrapolarse a los organismos acuáticos que, de alguna manera, pueden estar expuestos al herbicida (Sarkar et al., 2020). El proceso de lavado y escorrentía no solo transporta Metsulfuron-metilo a los cuerpos de agua, sino que también puede llevar consigo residuos de plantas tratadas, lo que añade complejidad al problema, ya que los organismos acuáticos, incluyendo a *Daphnia magna*, podrían estar expuestos tanto al herbicida como a los tejidos de plantas tratadas con él (Sondhia, 2019).

El estudio de la exposición de *Daphnia magna* al Metsulfuron-metilo es de suma importancia, ya que estos organismos, al ocupar un lugar destacado en la cadena alimentaria de los ecosistemas acuáticos, pueden influir en cascada en toda la comunidad acuática (Ahmed, 2023). Cualquier alteración en su reproducción, crecimiento o supervivencia podría tener efectos significativos en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos, desde la proliferación de algas hasta la disponibilidad de alimentos para peces y otros organismos superiores (Nasser, 2018). Además, *D. magna*, en virtud de su rápida reproducción y ciclo de vida corto, se presta de manera ideal para evaluar tanto los efectos agudos como crónicos del Metsulfuron-metilo, lo que proporciona información crucial sobre cómo el herbicida puede afectar a las poblaciones a lo largo del tiempo (Saouter et al., 2017).

El presente trabajo se centra en una investigación minuciosa destinada a analizar y comprender en detalle las posibles interferencias del Metsulfuron-metilo en el desarrollo y la supervivencia de *Daphnia magna*, proporcionando así una visión más completa de los efectos de este herbicida en los ecosistemas acuáticos y, en última instancia, en la salud del planeta.

Metodología

Aislamiento y caracterización

Los organismos fueron obtenidos de la zona baja del campus experimental La María, ubicado en la ciudad de Mocache, Provincia de Los Ríos. Específicamente, se procedió al aislamiento de estos organismos del reservorio de agua, utilizado para el riego de los cultivos agrícolas en dicho campus.

Se logró recuperar un total de 30 individuos adultos mediante un proceso de filtración seguido de una minuciosa visualización bajo un estereoscopio de la marca Olympus. Posteriormente, estos organismos fueron trasladados a un entorno acuoso proporcionado por agua de acuario esterilizada en autoclave a 60 °C, creando así las condiciones óptimas para su desarrollo.

Para su alimentación, se suministró a los organismos una dieta compuesta por levadura de cerveza comercial y microalgas producidas en el laboratorio de biología y microbiología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, garantizando un suministro nutricional adecuado.

Los individuos adultos de *Daphnia magna* fueron sometidos a un régimen de fotoperiodos que consistió en ciclos de 12 horas de oscuridad seguidos por 12 horas de luz. Para este propósito, se implementó iluminación LED específica para acuarios plantados, con una potencia de 5W, asegurando condiciones lumínicas óptimas para el desarrollo y comportamiento de estos organismos.

Desarrollo poblacional de *Daphnia magna*

El ensayo se inició con un grupo de 25 individuos juveniles, obtenidos tras un periodo de 4 semanas desde el aislamiento de los primeros ejemplares. Se procedió a modificar la dieta de estos individuos, incorporando levadura de cerveza comercial en una proporción de 0,05 g/L y espirulina en una proporción de 0,10 g/L. Esta combinación nutricional fue suministrada cada 6 días.

Con el objetivo de monitorear el desarrollo y la reproducción de los individuos, se llevó a cabo la cuantificación de nuevas generaciones de juveniles cada 10 días. Para este proceso, se empleó un estereoscopio de la marca Olympus y se redujo el volumen del agua a 20 mL. Posteriormente, el contenido fue transferido a una placa de Petri para facilitar su manipulación y observación detallada.

Mortalidad a exposición controlada de Metsulfuron-methyl

De las poblaciones obtenidas en el primer ensayo, se seleccionaron 40 individuos de *Daphnia magna* con una edad aproximada de 7 días. Estos fueron trasladados a envases plásticos translúcidos conteniendo 100 ml de agua de acuario previamente esterilizada. En este cultivo, se introdujo Metsulfuron-methyl en concentraciones progresivas, variando desde 0 hasta alcanzar los 350 mg/L.

Se procedió a evaluar la mortalidad de los organismos en intervalos de tiempo específicos, desde las 12, 24 y 72 horas posteriores a la inoculación de los componentes químicos. Este proceso permitió determinar los efectos de las diferentes concentraciones del Metsulfuron-methyl en la supervivencia de *D. magna*, proporcionando datos cruciales sobre la respuesta de estos organismos a estos compuestos.

Inhibición de la tasa reproductiva

Para llevar a cabo la evaluación de la tasa reproductiva de *Daphnia magna* expuesta a distintas concentraciones de Metsulfuron-methyl, se seleccionaron inicialmente 30 ejemplares adultos. Estos organismos fueron sometidos a un régimen alimentario exclusivo de levadura de cerveza durante un período de tres días, con el objetivo de estandarizar sus condiciones previas a la exposición a los contaminantes.

Transcurrido este periodo inicial, se procedió a la inoculación de Metsulfuron-methyl en diversas concentraciones, específicamente en niveles de 0, 500, 1000, 1500 y 2000 mg/L. La elección de estas concentraciones permitió abordar un rango representativo que abarcara desde ausencia de contaminante hasta niveles considerables.

La evaluación de la tasa reproductiva se llevó a cabo en intervalos de 10, 15 y 20 días después de la inoculación de los contaminantes. Para garantizar una observación detallada de cada ejemplar, se utilizó un estereoscopio de la marca Olympus. En este proceso, cada individuo fue contado y separado del grupo para posteriormente ser reintegrado al medio de crecimiento contaminado.

Este procedimiento se repitió en ciclos sucesivos, permitiendo así evaluar la respuesta reproductiva a lo largo del tiempo y detectar posibles efectos acumulativos de la exposición a las diferentes concentraciones de Metsulfuron-methyl.

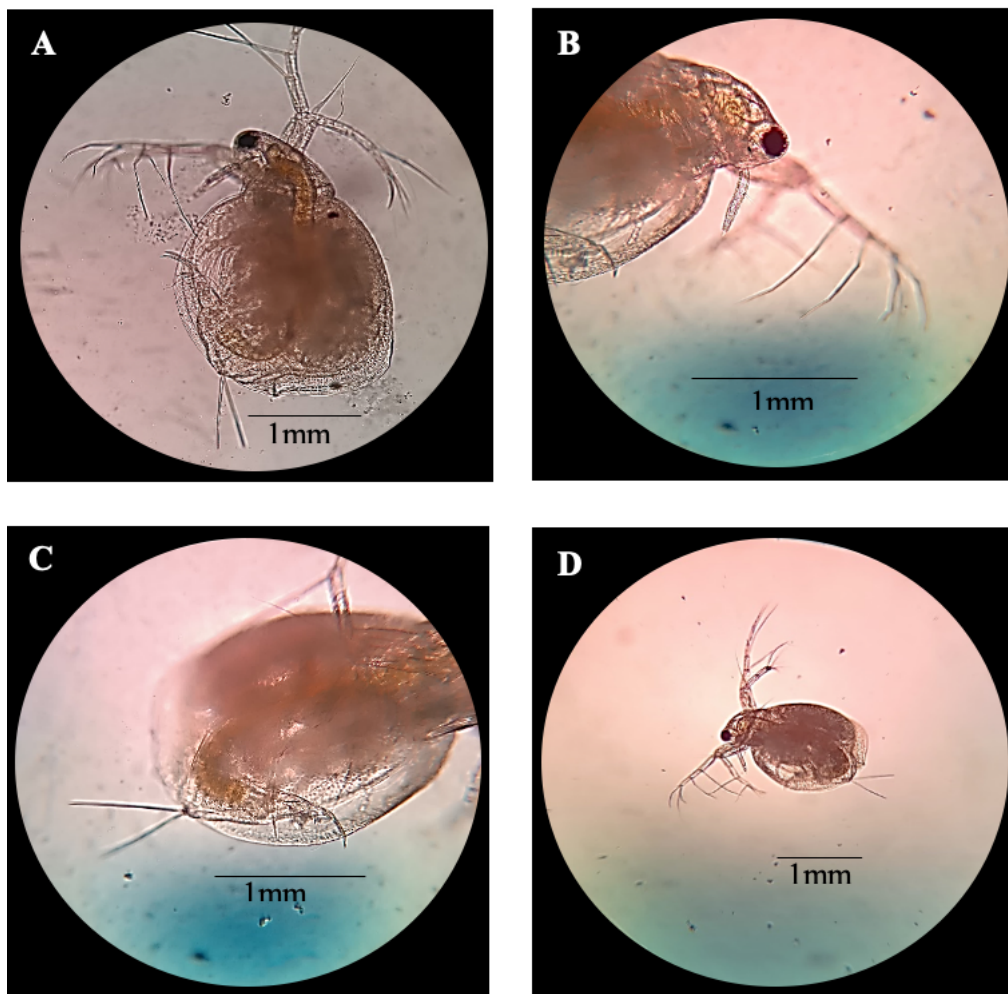
Resultados

Caracterización morfológica

Los resultados morfológicos revelaron una notable similitud con *Daphnia magna*. Los individuos adultos exhibieron un tamaño promedio de 2.3 mm de longitud y presentaron un cuerpo

translúcido dividido en dos regiones distintas: el cefalotórax y el abdomen. En la región anterior del organismo se observaron dos pares de antenas, acompañados por un par de ojos compuestos. En la región abdominal se evidenció la presencia de una serie de apéndices natatorios conocidos como branquiópodos (Figura 1B), los cuales desempeñan un papel esencial al permitir el movimiento del organismo en el medio acuático. Además de su función locomotora, estos branquiópodos generan un flujo continuo de agua a través del cuerpo, facilitando así tanto la respiración como la ingesta de alimento.

Figura 1. Características morfológicas de *Daphnia magna*; A) Ecotipo adulto, B) morfología de los apéndices posteriores y cabeza, C) Zona posterior y cola de ejemplar adulto, y D) juvenil exhibiendo apéndices natatorios.



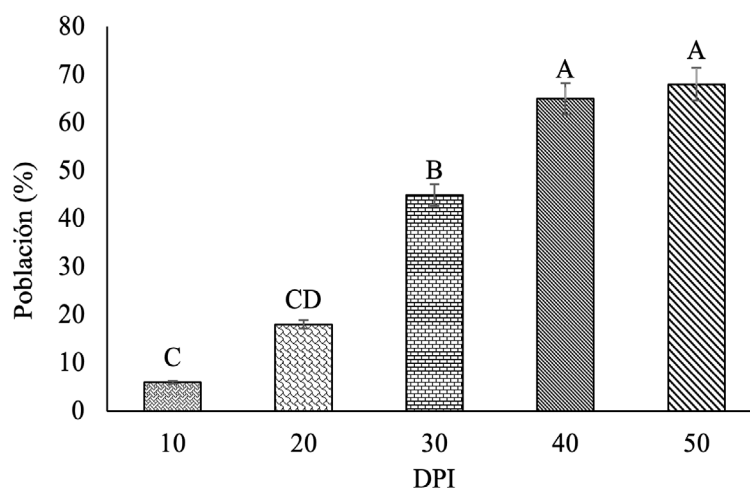
Fuente: elaborado por los autores.

Desarrollo poblacional en condiciones controladas

El desarrollo poblacional más significativo de *D. magna* se manifestó a partir del día 40 después de la inoculación inicial con 25 individuos juveniles, alcanzando un impresionante promedio del 65%. Este crecimiento continuó en aumento, llegando al 68% a los 50 días posteriores al inicio

de la inoculación. Estos resultados determinan una marcada tendencia de crecimiento exponencial en la población de nuevos individuos. Este fenómeno puede atribuirse a una dieta rica en nutrientes y a las favorables condiciones físicas y químicas del medio de desarrollo.

Figura 2. Desarrollo poblacional de *D. magna*, luego de la inducción a un ambiente controlado y dieta artificial. Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas al nivel de ($p \leq 0,05$), por el procedimiento de comparación múltiple de Tukey. Las barras indican la DE individual para tratamiento (\pm).



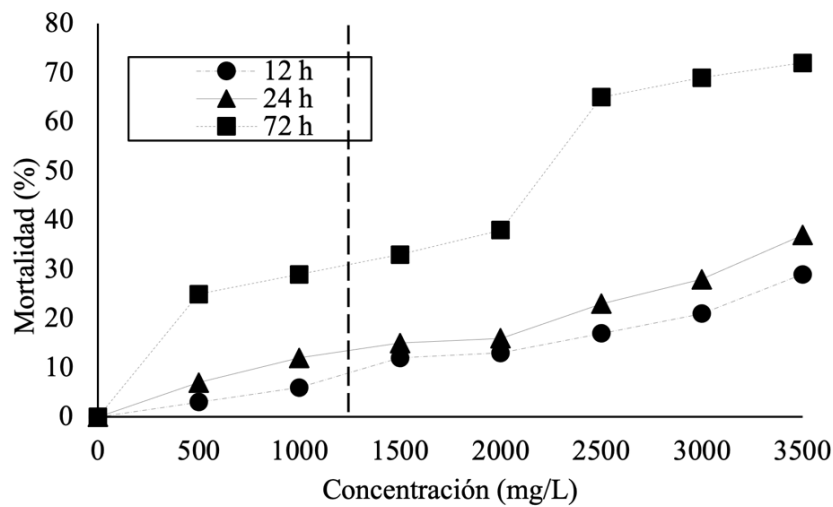
Fuente: elaborado por los autores.

Mortalidad a exposición controlada de Metsulfuron-methyl

La exposición controlada y secuencial de *Daphnia magna* al Metsulfuron-methyl reveló que concentraciones superiores a 2000 mg/L durante un periodo de exposición de 72 horas ocasionan una mortalidad superior al 50%, alcanzando los valores más altos de 72% en una concentración de 3500 mg/L. Este hallazgo indica una relación directa entre la dosis de Metsulfuron-methyl y la mortalidad de *D. magna*, subrayando la sensibilidad de estos organismos a las concentraciones elevadas de este herbicida.

La exposición controlada y secuencial de *D. magna* a Metsulfuron-methyl dio como resultado que las concentraciones superiores a 2000 mg/L en un tiempo de exposición de 72 horas ocasiona una mortalidad superior al 50% alcanzando los valores más altos de 72% en una concentración de 3500 mg/L. El incremento en el tiempo de exposición de *D. magna* a Metsulfuron-methyl incrementa los índices de mortalidad (Figura 3), las diferencias entre el tiempo de exposición de 12 y 24 horas son poco distantes obteniendo un promedio de mortalidad en la concentración de 3500 mg/L de 29 y 37% respectivamente.

Figura 3. Mortalidad de ejemplares de *D. magna* a diferentes concentraciones de Metsulfuron-methyl, en tres tiempos de exposición (12, 24 y 48 horas).



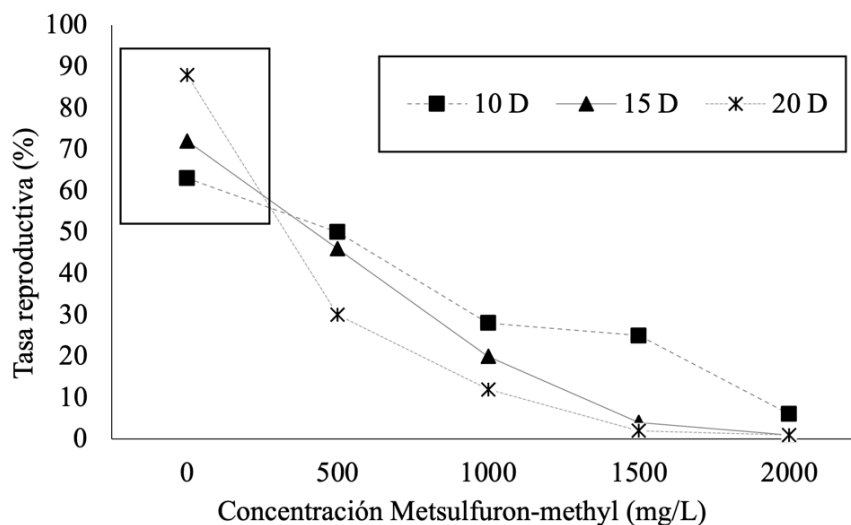
Fuente: elaborado por los autores.

Interferencias en la reproducción de *D. magna* expuesta a Metsulfuron-methyl

La influencia del Metsulfurón-metilo en la tasa reproductiva de *D. magna* se evidenció de manera significativa al aumentar las concentraciones del compuesto. Inicialmente, a una concentración de 500 mg/L durante un período de exposición de 20 días, se observó un decrecimiento del 30% en la tasa de reproducción (Figura 4). Sin embargo, a concentraciones similares, pero con tiempos de exposición de 10 y 15 días, se registraron promedios del 50% y 46%, respectivamente.

En una concentración de 2000 mg/L durante 10 días de exposición, la tasa de reproducción disminuyó drásticamente a tan solo un 6%. Además, períodos de exposición más prolongados, de 15 y 20 días a la misma concentración, resultaron en la completa inhibición de la reproducción de *D. magna*.

Figura 4. Tasa reproductiva de *D. magna* ante la exposición secuencial de Metsulfuron-methyl en 3 tiempo de exposición. Frecuencias de evaluación de 10, 15 y 20 días.



Fuente: elaborado por los autores.

Discusión

Las investigaciones llevadas a cabo por Weng et al. (2020), determinan que *D. magna* alcanza tamaños que varían entre 1 y 5 mm. Su cuerpo presenta una forma comprimida lateralmente y, en general, tiene una apariencia ovalada. Posee un exoesqueleto transparente conocido como carapacho, que protege y cubre gran parte de su cuerpo (Khattab et al., 2022). Estos resultados concuerdan con los descritos en la presente investigación donde se logró recuperar del ecosistema acuático organismos que presentaron cuerpo de forma comprimida y de apariencia ovalada con tamaño promedio de 2.3 mm.

Por consiguiente, varios autores señalan que el tamaño de *D. magna* puede variar significativamente según la zona de recolección y la disponibilidad de alimentos en su entorno natural (Schwarzer et al., 2022; Espinosa et al., 2023). La cantidad y calidad de los recursos alimenticios presentes en el agua, como algas y bacterias, tienen un impacto directo en el tamaño de *D. magna*. Cuando hay abundancia de alimentos, las pulgas de agua tienen acceso a una mayor cantidad de nutrientes, lo que puede resultar en un crecimiento más rápido y un mayor tamaño corporal (Rashid, 2020). Estos hallazgos podrían estar relacionados con el tamaño de los ejemplares encontrados en el reservorio de agua del Campus La María.

Los valores máximos de crecimiento poblacional de *D. magna* se alcanzaron a los 50 días con un incremento del 68 %, estos valores coinciden con los obtenidos por Betini et al. (2020), quien alcanzó valores de incremento promedio de 72 %. En contraste Guilhermino et al. (2021), hace referencia a que la tasa de crecimiento de *D. magna* está influenciada por varios factores, incluida la disponibilidad y calidad de los recursos alimenticios.

Por consiguiente, una alimentación suplementada por levadura proporciona una fuente de proteínas, lípidos y carbohidratos de buena disponibilidad (Fouzi et al., 2021). La composición nutricional específica de la levadura puede afectar de forma beneficiosa el crecimiento y desarrollo de *D. magna* (Turcihan et al., 2022).

La exposición de *D. magna* a Metsulfuron-methyl en concentración de 200 mg/L ocasiono una reducción de la población del 50%. Esto se debe a que el Metsulfuron-methyl puede interferir con enzimas clave en los organismos acuáticos (Sanford et al., 2021). Algunas sulfonilureas actúan como inhibidores de la enzima acetolactato sintasa (ALS), que participa en la síntesis de aminoácidos de cadena ramificada (Silva et al., 2018). La inhibición de esta enzima puede afectar la síntesis de proteínas esenciales para el organismo (Washuck et al., 2021).

Asimismo, Li et al. (2019), destaca que estos componentes ocasionan desregulación del metabolismo celular mediante la interferencia con la síntesis de aminoácidos y, por ende, de proteínas, puede llevar a desregulaciones en el metabolismo celular de *D. magna*. Hernandez et al. (2023), esto puede afectar la función normal de las células y, eventualmente, provocar la muerte celular.

La tasa reproductiva de *D. magna* se vio afectada ante la presencia de Metsulfuron-methyl en el medio de crecimiento alcanzando los valores más bajos en concentración de 2000 mg/L. Según Watanabe et al. (2018), estos compuestos pueden interferir con procesos metabólicos específicos de *D. magna*, llegando a afectar la capacidad del organismo para llevar a cabo funciones esenciales, como la reproducción. Por otra parte (Sanford, 2020; Lu et al., 2020) algunas sustancias químicas pueden inhibir enzimas clave o afectar la síntesis de proteínas, lo que impacta negativamente en el rendimiento reproductivo (Liu et al., 2023).

No obstante, la magnitud de los efectos en la tasa reproductiva puede depender de la concentración del herbicida y la duración de la exposición. Concentraciones más altas y exposiciones prolongadas suelen estar asociadas con mayores impactos que indirectamente influirán en la tasa reproductiva (Pastukhov et al., 2023). Aunque la mortalidad es un efecto observable, es posible que haya efectos subletales y crónicos en *D. magna*. Esto podría incluir reducciones en la viabilidad de los huevos, alteraciones en el desarrollo embrionario, o cambios en el comportamiento reproductivo (Ostiguy et al., 2019).

Conclusiones

Se logró evidenciar que la exposición de *Daphnia magna* a Metsulfuron-methyl ocasiona un impacto significativo en la tasa reproductiva de este organismo. Los resultados indican que la presencia de Metsulfuron-methyl en ecosistemas acuáticos durante diferentes períodos de exposición conlleva una reducción sustancial en la capacidad reproductiva de *D. magna*.

Los mecanismos subyacentes a la afectación reproductiva de *D. magna* ante la presencia de Metsulfuron-methyl incluyen la interferencia con procesos metabólicos cruciales, posiblemente a través de la inhibición de enzimas clave. Además, se sugiere la posibilidad de alteraciones en el sistema endocrino y efectos subletales que podrían comprometer la viabilidad de las crías.

La toxicidad observada en *D. magna* plantea preocupaciones sobre la salud y estabilidad de las poblaciones acuáticas en ambientes expuestos a este herbicida. Estos resultados respaldan la necesidad de regulaciones y prácticas de gestión ambiental que minimicen la exposición de organismos acuáticos a Metsulfuron-methyl, salvaguardando así la integridad de los ecosistemas acuáticos.

Referencias

- Ahmed, S. (2023). Applications of *Daphnia magna* in Ecotoxicological Studies: A Review. *Journal of Advanced Research in Biology*, 6(2), 16-35.
- Betini, G. S., Wang, X., Avgar, T., Guzzo, M. M., & Fryxell, J. M. (2020). Food availability modulates temperature-dependent effects on growth, reproduction, and survival in *Daphnia magna*. *Ecology and evolution*, 10(2), 756-762.
- Campillo-Cora, C., Santás-Miguel, V., Nuñez-Delgado, A., Arias-Estevez, M., & Fernández-Calviño, D. (2022). Presence, fate, and transport of sulfonylurea herbicides in soils. *Pesticides Remediation Technologies from Water and Wastewater*.
- Chowdhary, A. B., Singh, J., Quadar, J., Singh, S., Singh, A., Dutta, R., & Vig, A. P. (2022). Metsulfuron-methyl induced physiological, behavioural and biochemical changes in exotic (*Eisenia fetida*) and indigenous (*Metaphire posthuma*) earthworm species: Toxicity and molecular docking studies. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 188, 105276.
- Espinosa-Rodríguez, C. A., Jiménez-Santos, M. A., Martínez-Miranda, D. M., Piedra-Ibarra, E., Rivera-De la Parra, L., & Lugo-Vázquez, A. (2023). *Daphnia magna* (Crustacea: Anomopoda) in central Mexico wetlands: implications of escape from ecotoxicological laboratories. *Biological Invasions*, 1-7.
- Fouzi, M. N. M., Surakshima, H. A. B., & Withanage, P. M. (2021). Influence of fish meal, yeast and maize on the growth and survival of freshwater zooplankton *Daphnia magna*. *SLIoT*, 46-52.
- Galon, L., Silva, A. M. L. D., Franceschetti, M. B., Müller, C., Weirich, S. N., Toso, J. O., & Perin, G. F. (2023). Selectivity and efficacy of herbicides applied on barley for weed control. *Bragantia*, 82.
- Gonzalo Mayoral, E. S., Aparicio, V. C., De Gerónimo, E., Fernandes, G., Rheinheimer dos Santos, D., & Costa, J. L. (2022). Glyphosate, AMPA, and metsulfuron-methyl retention in the main horizons of a Typic Argiudoll. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 57(7), 526-540.
- Guilhermino, L., Martins, A., Cunha, S., & Fernandes, J. O. (2021). Long-term adverse effects of microplastics on *Daphnia magna* reproduction and population growth rate at increased water temperature and light intensity: Combined effects of stressors and interactions. *Science of the Total Environment*, 784.
- Hernández-Zamora, M., Rodríguez-Miguel, A., Martínez-Jerónimo, L., & Martínez-Jerónimo, F. (2023). Combined Toxicity of Glyphosate (Faena®) and Copper to the American Cladoceran *Daphnia exilis*—A Two-Generation Analysis. *Water*, 15(11), 2018.

- Khattab, A. M., Abo-Taleb, H. A., Abdelaziz, A. M., El-Tabakh, M. A., El-Feky, M. M., & Abu-Elghait, M. (2022). *Daphnia magna* and *Gammarus pulex*, novel promising agents for biomedical and agricultural applications. *Scientific Reports*, 12(1).
- Klementová, Š., Hornychová, L., Šorf, M., Zemanová, J., & Kahoun, D. (2019). Toxicity of atrazine and the products of its homogeneous photocatalytic degradation on the aquatic organisms *Lemna minor* and *Daphnia magna*. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 27259-27267.
- Li, C., Zhang, N., Chen, J., Ji, J., Liu, X., Wang, J., & Ma, Y. (2019). Temperature and pH sensitive composite for rapid and effective removal of sulfonylurea herbicides in aqueous solution. *Environmental Pollution*, 255, 113150.
- Liu, J., Feng, Q., Yang, H., Fan, X., Jiang, Y., & Wu, T. (2023). Acute toxicity of tire wear particles and leachate to *Daphnia magna*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 272.
- Lobo, R. G., Azofeifa, P. L., & Quirós, L. H. (2021). La biodiversidad de Costa Rica en dos siglos de vida independiente, y una mirada hacia el tricentenario. *Revista del Archivo Nacional*, 85.
- Lu, Y., Li, S., Sha, M., Wang, B., Cheng, G., Guo, Y., & Zhu, J. (2020). Cascading effects caused by fenoxycarb in freshwater systems dominated by *Daphnia carinata* and *Dolerocypris sinensis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 203.
- Mishra, R. K. (2023). Fresh water availability and its global challenge. *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*, 4(3), 1-78.
- Mojiri, A., Zhou, J. L., Robinson, B., Ohashi, A., Ozaki, N., Kindaichi, T., ... & Vakili, M. (2020). Pesticides in aquatic environments and their removal by adsorption methods. *Chemosphere*, 253.
- Nasser, F. (2018). *Exposure matters: effects of environmentally realistic exposure conditions on toxicity of model nanomaterials to Daphnia magna* [Thesis doctoral, University of Birmingham].
- Nilsen, E., Smalling, K. L., Ahrens, L., Gros, M., Miglioranza, K. S., Picó, Y., & Schoenfuss, H. L. (2019). Critical review: grand challenges in assessing the adverse effects of contaminants of emerging concern on aquatic food webs. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(1), 46-60.
- Ostiguy, N., Drummond, F. A., Aronstein, K., Eitzer, B., Ellis, J. D., Spivak, M., & Sheppard, W. S. (2019). Honey bee exposure to pesticides: A four-year nationwide study. *Insects*, 10(1), 13.
- Pacholczak, A., Nowakowska, K., & Gromadzka, D. (2017). Response of several coniferous shrubs to the application of herbicide containing foramsulfuron and methylsodium iodosulfuron. *Polish Journal of Agronomy*, 30, 3-9.
- Pastukhov, A. V., Ilyin, M. M., & Chkanikov, N. D. (2023). Acid-activated natural zeolite and montmorillonite as adsorbents decomposing metsulfuron-methyl herbicide. *Inorganic Chemistry Communications*, 158.
- Rand, G. M., Wells, P. G., & McCarty, L. S. (2020). *Introduction to aquatic toxicology*. CRC Press.
- Rashid, P. (2020). Culture of freshwater zooplankton *Daphnia magna* fed with different feed combination. *Bangladesh Journal of Fisheries* 32(1), 55-59.

- Rodrigues, S., Pinto, I., Martins, F., Formigo, N., & Antunes, S. C. (2021). Can biochemical endpoints improve the sensitivity of the biomonitoring strategy using bioassays with standard species, for water quality evaluation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 215.
- Sanford, M. (2020). *Assessing the risk of pesticides to small streams in Southwestern Ontario using high frequency water sampling* [Thesis Doctoral, University of Guelph].
- Sanford, M., Washuck, N., Carr, K., & Prosser, R. S. (2021). Pulsed exposure of the macrophyte *Lemna minor* to herbicides and the mayfly *Neocloeon triangulifer* to diamide insecticides. *Chemosphere*, 273.
- Saouter, E., Aschberger, K., Fantke, P., Hauschild, M. Z., Bopp, S. K., Kienzler, A., & Sala, S. (2017). Improving substance information in USEtox[®], part 1: discussion on data and approaches for estimating freshwater ecotoxicity effect factors. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(12), 3450-3462.
- Sarkar, B., Mukhopadhyay, R., Mandal, A., Mandal, S., Vithanage, M., & Biswas, J. K. (2020). *Sorption and desorption of agro-pesticides in soils. In Agrochemicals detection, treatment and remediation*. Butterworth-Heinemann.
- Schwarzer, M., Brehm, J., Vollmer, M., Jasinski, J., Xu, C., Zainuddin, S., & Laforsch, C. (2022). Shape, size, and polymer dependent effects of microplastics on *Daphnia magna*. *Journal of Hazardous Materials*, 426.
- Silva, E., Martins, C., Pereira, A. S., Loureiro, S., & Cerejeira, M. J. (2018). Toxicity prediction and assessment of an environmentally realistic pesticide mixture to *Daphnia magna* and *Raphidocelis subcapitata*. *Ecotoxicology*, 27, 956-967.
- Slaby, S., Le Cor, F., Dufour, V., Auger, L., Pasquini, L., Cardoso, O., & Banas, D. (2022). Distribution of pesticides and some of their transformation products in a small lentic waterbody: Fish, water, and sediment contamination in an agricultural watershed. *Environmental Pollution*, 292.
- Sondhia, S. (2019). *Environmental fate of herbicide use in Central India*. Herbicide residue research in India.
- Sonone, S. S., Jadhav, S., Sankhla, M. S., & Kumar, R. (2020). Water contamination by heavy metals and their toxic effect on aquaculture and human health through food Chain. *Lett. Appl. NanoBioScience*, 10(2), 2148-2166.
- Turcihan, G., Isinibilir, M., Zeybek, Y. G., & Eryalçın, K. M. (2022). Effect of different feeds on reproduction performance, nutritional components and fatty acid composition of cladocer water flea (*Daphnia magna*). *Aquaculture Research*, 53(6), 2420-2430.
- Washuck, N., Carr, K., & Prosser, R. S. (2021). Pulsed exposure of the macrophyte *Lemna minor* to herbicides and the mayfly *Neocloeon triangulifer* to diamide insecticides. *Chemosphere*, 273, 128582.
- Watanabe, H., Oda, S., Abe, R., Tanaka, Y., & Tatarazako, N. (2018). Comparison of the effects of constant and pulsed exposure with equivalent time-weighted average concentrations of the juvenile hormone analog pyriproxyfen on the reproduction of *Daphnia magna*. *Chemosphere*, 195, 810-816.

- Weng, M., Liu, X., Zhao, Y., Xie, D., Zhang, Q., Sato, H., & Zhang, J. (2020). Morphological and molecular characterization of a new species, *Agglomerata daphniae* n. sp. from the hypoderm of *Daphnia magna* (Crustacea: Daphniidae). *Journal of invertebrate pathology*, 177.
- Wolejko, E., Wydro, U., Odziejewicz, J. I., Koronkiewicz, A., & Jabłońska-Trypuć, A. (2022). Biomonitoring of Soil Contaminated with Herbicides. *Water*, 14(10), 1534.
- Zhao, N., Li, W., Bai, S., Guo, W., Yuan, G., Wang, F., & Wang, J. (2017). Transcriptome profiling to identify genes involved in mesosulfuron-methyl resistance in *Alopecurus aequalis*. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1391.
- Zhong, J., Wu, S., Chen, W. J., Huang, Y., Lei, Q., Mishra, S., ... & Chen, S. (2023). Current insights into the microbial degradation of nicosulfuron: Strains, metabolic pathways, and molecular mechanisms. *Chemosphere*, 326.

Autores

Angel Virgilio Cedeño Moreira. Ingeniero Agrónomo graduado en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y obtuvo una maestría en Gestión Ambiental en la misma institución. Además, tiene una maestría en Microbiología otorgada por la Universidad Autónoma de Madrid. Actualmente cursando un doctorado de Biotecnología en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C (CIBNOR). También es investigador acreditado de la SENESCYT. Trabaja actualmente como Técnico Docente en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Ketty Vanessa Arellano Ibarra. Ingeniera Agrónoma graduada en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Actualmente cursando una maestría de Agronomía con mención producción agrícola sostenible en la misma institución. Asesora en procesos agrícolas sostenibles.

Oscar Oswaldo Prieto Benavides. Ingeniero Forestal se graduó de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y obtuvo una maestría en Desarrollo y Medio Ambiente de la misma institución. Además, posee un doctorado en Recursos Naturales de la Universidad Federal de Roraima en Brasil. Actualmente, trabaja como docente-investigador en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Edwin Miguel Jiménez Romero. Ingeniero Forestal desde el año 2007 graduado en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Magister en Manejo y Aprovechamiento Forestal de la Misma Institución, profesor titular, categoría docente investigador en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Declaración

Conflicto de interés

No tenemos ningún conflicto de interés que declarar.

Financiamiento

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Notas

El artículo es original y no ha sido publicado previamente.