

Avances y Perspectivas en la Búsqueda de Compuestos contra Monogéneos en Piscicultura

Progress and Prospects in the Search for Anti-monogenean Compounds in Aquaculture

Francisco Neptalí Morales-Serna¹ 

¹Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
Universidad Nacional Autónoma de México,
Mazatlán, Sinaloa, México.

Autor de correspondencia:

Francisco Neptalí Morales-Serna. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán, Sinaloa, México. neptali@ola.icmyl.unam.mx

Como citar:

Morales-Serna FN. (2026). Avances y Perspectivas en la Búsqueda de Compuestos contra Monogéneos en Piscicultura. Tropical Aquaculture 4 (1): e5763. DOI 10.19136/ta.a4n1.5763

Fecha de recepción: 22 de junio de 2026

Fecha de aceptación: 09 de agosto de 2026

Licencia creative commons:

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International



Resumen

Los monogéneos constituyen uno de los principales grupos de parásitos que afectan a los peces en sistemas de cultivo, debido a su rápida capacidad de transmisión y proliferación. Esta revisión narrativa presenta algunas de las estrategias utilizadas para el control de monogéneos y el desafío que supone el descubrimiento de nuevos antiparasitarios. Aunque diversos compuestos químicos y antihelmínticos han demostrado eficacia contra estos parásitos, su aplicación puede verse limitada por problemas relacionados con toxicidad, posibles impactos ambientales y riesgo de desarrollo de resistencia. Asimismo, diversos compuestos derivados de plantas han sido evaluados como alternativas potenciales, aunque la evidencia disponible muestra resultados variables en términos de eficacia y seguridad. Considerando la gran cantidad de compuestos con posible actividad antiparasitaria y los costos asociados a su evaluación experimental, existe un creciente interés en herramientas que permitan optimizar la identificación y la selección de candidatos prometedores. En este contexto, se discute el potencial de los recursos ómicos, la bioinformática y las aproximaciones computacionales para identificar posibles blancos terapéuticos, analizar interacciones moleculares y priorizar compuestos candidatos antes de realizar bioensayos en peces. Estudios recientes en monogéneos demuestran que estas herramientas pueden contribuir a la identificación de compuestos con actividad antiparasitaria y al descubrimiento más eficiente de nuevos tratamientos.

Palabras claves: helmintos, parásitos, sanidad, peces, acuicultura, veterinaria.

Abstract

Monogeneans are among the most important groups of parasites affecting cultured fish due to their rapid transmission and proliferation. This narrative review presents strategies for monogenean control and discusses the challenges of discovering new antiparasitic treatments. Although several chemical compounds and anthelmintics have demonstrated efficacy against these parasites, their use may be limited by toxicity, potential environmental impacts, and the risk of resistance development. Plant-derived compounds have also been evaluated as potential alternatives; however, available evidence indicates considerable variation in their efficacy and safety. Given the large number of compounds with potential antiparasitic activity and the costs associated with their experimental evaluation, there is growing interest in approaches that can improve the identification and selection of promising candidates. In this context, the potential of omics resources, bioinformatics, and computational approaches to identify therapeutic targets and prioritize candidate compounds before experimental testing is discussed. Recent studies on monogeneans demonstrate that these tools can facilitate the identification of compounds with antiparasitic activity and support a more efficient discovery of new treatments. These advances highlight the growing role of computational approaches in antiparasitic research and their potential contribution to more sustainable research strategies in aquaculture.

Keywords: Helminths, parasites, fish health, aquaculture, veterinarians.

Introducción

El cultivo intensivo de peces enfrenta diversos desafíos, entre ellos las enfermedades infecciosas causadas por virus, bacterias, hongos y parásitos. Dentro de estos últimos, los monogéneos destacan como uno de los grupos de mayor importancia en peces marinos y dulceacuícolas, debido a que pueden provocar lesiones severas, afectar el crecimiento de los organismos cultivados e incluso causar mortalidades masivas en condiciones de alta infestación (Whittington y Chisholm 2008). Además de comprometer el bienestar de los peces al causar daños en la piel y las branquias, estos parásitos pueden generar pérdidas productivas y económicas importantes en la acuicultura (Shinn *et al.* 2015). En especies tropicales de importancia comercial, los monogéneos capsálidos se han asociado con mortalidades masivas y pérdidas estimadas de aproximadamente US\$0.28 millones en barramundi (*Lates calcarifer*), US\$0.5 millones en medregal (*Seriola dumerili*) y US\$1.8 millones en cobia (*Rachycentron canadum*) (Deveney *et al.* 2001, Shinn *et al.* 2015). En sistemas de cultivo dulceacuícolas, monogéneos como *Gyrodactylus cichlidarum* y especies del género *Cichlidogyrus* pueden afectar la salud y el desempeño productivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), al asociarse con lesiones branquiales, mortalidad, menor condición

corporal y pérdidas económicas (Grano-Maldonado *et al.* 2018, Paredes-Trujillo *et al.* 2021).

Los monogéneos son gusanos planos microscópicos pertenecientes al phylum Platyhelminthes. La mayoría de las especies parasitan principalmente la piel, las aletas o las branquias de los peces, donde se alimentan del mucus, de células epiteliales o de la sangre. Entre las características biológicas que favorecen la transmisión y la proliferación de los monogéneos destacan su ciclo de vida directo y su elevada capacidad reproductiva (Figura 1).

En las especies ovíparas, el adulto permanece adherido al pez y libera huevos al ambiente; posteriormente, de cada huevo emerge una larva ciliada, conocida como oncomiracidio, cuya función principal es localizar e infectar un nuevo hospedero. Este proceso puede ocurrir rápidamente y repetirse de forma continua en un sistema de cultivo. En las especies vivíparas, las crías se desarrollan dentro del cuerpo del adulto y nacen completamente formadas. Además, los embriones en desarrollo pueden albergar nuevos embriones en su interior, formando una estructura semejante a una “muñeca rusa”. Esta característica permite que las poblaciones aumenten rápidamente y favorece una colonización eficiente de nuevos hospederos (Hoai 2020).

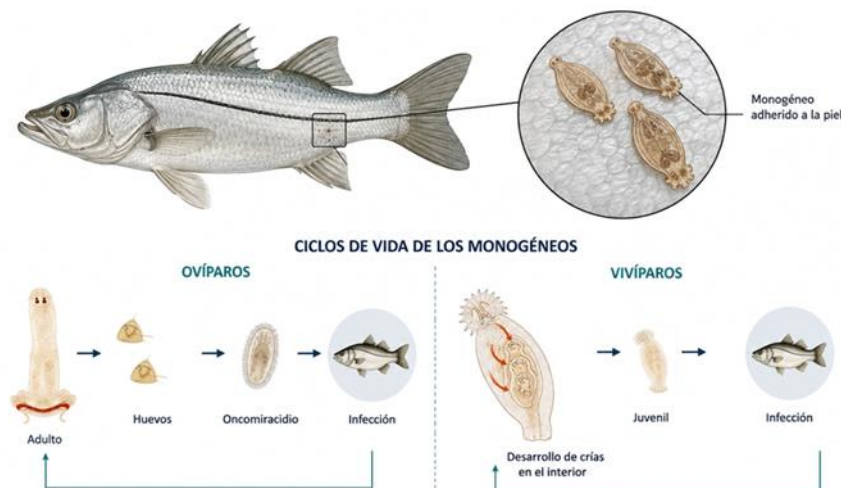


Figura 1. Los monogéneos tienen ciclos de vida directos y son altamente prolíficos, por lo que pueden causar brotes parasitarios en sistemas de cultivo de peces. Figura generada mediante inteligencia artificial.

Los monogéneos son organismos hermafroditas y, aunque con frecuencia presentan fecundación cruzada, en algunas especies también se ha observado autoinseminación. Este comportamiento se ha documentado en *Benedeniella macrocolpa*, *B. posterocolpa*, *Neobenedenia melleni*, *N.girellae* y *Heterobothrium okamotoi* (Ogawa 2002, Hoai y Hutson 2014). En *Neobenedenia* sp., se demostró experimentalmente que un individuo mantenido en aislamiento puede producir alrededor de 3000 huevos en aproximadamente dos semanas (Hoai y Hutson 2014). En consecuencia, en condiciones favorables, un único parásito podría iniciar una infestación.

Estas características biológicas, combinadas con las altas densidades de peces en los sistemas de cultivo, favorecen la propagación de los monogéneos y hacen que su control siga representando un desafío para la acuicultura. En este contexto, el objetivo de esta revisión narrativa es presentar de manera general las limitaciones asociadas a los tratamientos convencionales y a los compuestos derivados de plantas utilizados o evaluados para el control de monogéneos, así como los desafíos que supone la búsqueda experimental de nuevos antiparasitarios. Ante estos desafíos, se discute el potencial de las herramientas moleculares y computacionales para contribuir a una identificación y selección más eficientes de compuestos con posible actividad contra monogéneos.

Materiales y métodos

Este artículo corresponde a una revisión narrativa de la literatura. La selección de referencias se basó en su relevancia para discutir las limitaciones del control de monogéneos, los desafíos que implica el descubrimiento de nuevos antiparasitarios y el potencial de las herramientas moleculares y computacionales en este campo. Para ello, se consultó la literatura científica especializada disponible en Google Scholar y en Scopus. Las búsquedas se realizaron en inglés mediante distintas combinaciones de términos relacionados con monogeneans, parasites, aquaculture, disease, control, treatments, drugs, chemicals, plant extracts, drug

discovery, drug repurposing, omics, bioinformatics, computational approaches, artificial intelligence y ethics.

La selección de la literatura fue dirigida y se basó en su pertinencia respecto al objetivo y los temas abordados en la revisión. Se priorizaron estudios que aportaran antecedentes conceptuales, revisiones relevantes o evidencia empírica sobre el control de monogéneos y la búsqueda de nuevos antiparasitarios. Además de los trabajos identificados mediante las búsquedas bibliográficas, se incluyeron publicaciones previamente conocidas por el autor y referencias relevantes identificadas en los artículos consultados. A diferencia de una revisión sistemática, no se buscó recopilar exhaustivamente toda la evidencia disponible, sino integrar trabajos representativos que permitieran contextualizar y desarrollar la narrativa propuesta. En total, se incluyeron 38 publicaciones.

Tratamientos convencionales

Debido a la rapidez con la que los monogéneos pueden propagarse en sistemas de cultivo, la prevención constituye una de las principales estrategias de control. Las buenas prácticas de manejo, el control de densidades y el monitoreo sanitario pueden ayudar a reducir el riesgo de brotes parasitarios (Yasin et al., 2025). Sin embargo, una vez que las infestaciones alcanzan niveles elevados, con frecuencia es necesario recurrir a tratamientos químicos o farmacológicos para disminuir las cargas parasitarias y evitar pérdidas económicas.

Entre los tratamientos utilizados en acuicultura destacan compuestos como la formalina y el peróxido de hidrógeno, que han demostrado eficacia contra distintos monogéneos (Jones et al. 2015, Hirazawa et al. 2017, Leal et al. 2018). Estos tratamientos suelen aplicarse mediante baños de inmersión, en los que los peces se exponen temporalmente a determinadas concentraciones del compuesto antiparasitario (Figura 2). Además, otros fármacos, como el praziquantel (Bader et al. 2019), han sido ampliamente estudiados y recomendados en diversas investigaciones por su capacidad para reducir las infestaciones parasitarias en peces cultivados.

No obstante, el uso de estos y otros compuestos ha generado preocupación debido a sus posibles efectos adversos. Dependiendo de la concentración, del tiempo de exposición y de las condiciones de aplicación, algunos tratamientos pueden causar estrés o toxicidad en los peces. Asimismo, diversos compuestos utilizados en acuicultura están sujetos a regulaciones destinadas a garantizar su eficacia, la seguridad de los organismos cultivados, la inocuidad para el consumidor y la protección del medio ambiente. Debido a que algunos productos pueden alcanzar ecosistemas adyacentes a través de los efluentes de cultivo, distintos marcos regulatorios incorporan evaluaciones de riesgo ambiental que consideran aspectos como la persistencia del compuesto, su potencial de bioacumulación y sus posibles efectos sobre organismos no objetivo (Costello *et al.* 2001, Rico *et al.* 2012). Estas consideraciones han impulsado la búsqueda de estrategias de control más sostenibles y compatibles con una acuicultura de menor impacto ambiental.

Otra limitación asociada al uso prolongado de algunos antiparasitarios es la posible aparición de resistencia a los fármacos. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado en diversos parásitos de peces y puede reducir progresivamente la eficacia de tratamientos previamente exitosos. En el caso de los monogéneos, estudios experimentales advirtieron tempranamente del riesgo de resistencia a los benzimidazoles, lo que posteriormente se confirmó en granjas de anguila tras varios años de uso continuo de mebendazol contra *Pseudodactylogyrus* spp. (Buchmann *et al.* 1992, Waller y Buchmann 2001). Asimismo, se han reportado reducciones en la sensibilidad de algunos parásitos al praziquantel y resistencia a otros compuestos utilizados contra ectoparásitos de peces (Lieke *et al.* 2020, Buchmann 2022). Estos antecedentes resaltan la importancia de diversificar las estrategias de control y de desarrollar nuevas alternativas terapéuticas.



Figura 2. En piscicultura, el control de monogéneos puede incluir baños terapéuticos con productos químicos, como formalina o peróxido de hidrógeno, o con antihelmínticos como praziquantel. Sin embargo, algunos tratamientos generan preocupaciones relacionadas con toxicidad e impacto ambiental. Figura generada mediante inteligencia artificial.

Compuestos vegetales

Durante las últimas décadas, ha aumentado el interés por el uso de compuestos de origen vegetal como posibles alternativas para el control de enfermedades en la acuicultura (Reverter *et al.* 2017). Muchos de estos productos han sido estudiados debido a las diversas propiedades biológicas que se les atribuyen, entre ellas la

actividad antioxidante, antimicrobiana, inmunoestimulante y antiparasitaria. Además, con frecuencia se consideran opciones potencialmente más amigables con el medio ambiente en comparación con algunos tratamientos químicos convencionales (Bu *et al.* 2026, Chaklader *et al.* 2026).

En el caso de los monogéneos, diversas investigaciones han evaluado el efecto de compuestos vegetales sobre peces cultivados infectados, generalmente mediante

baños terapéuticos o de inmersión (Doan *et al.* 2020, Tan *et al.* 2026). Entre los productos analizados se encuentran extractos crudos procedentes de distintas partes de las plantas, aceites esenciales y compuestos aislados o purificados. Estos estudios han explorado una

gran variedad de especies vegetales y metodologías experimentales, incluyendo diferentes concentraciones, tiempos de exposición y especies de peces y de parásitos.

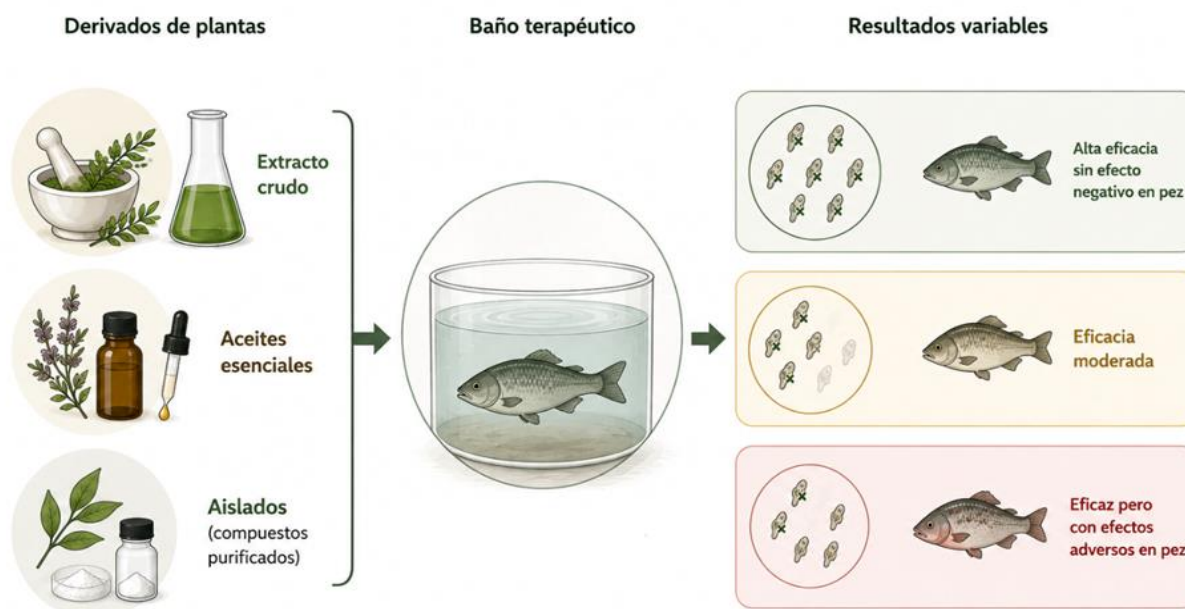


Figura 3. Diversos estudios han evaluado derivados de plantas contra monogéneos en peces. Aunque algunos compuestos muestran resultados prometedores, otros presentan eficacia limitada o efectos adversos en los peces. Figura generada mediante inteligencia artificial.

La evidencia disponible fue recientemente sintetizada mediante un metaanálisis que recopiló información de decenas de estudios experimentales sobre compuestos vegetales contra monogéneos (Morales-Serna 2026). Dicho estudio mostró un claro predominio de investigaciones sobre unas pocas especies de peces dulceacuícolas, principalmente en China y Brasil, mientras que los estudios enfocados en peces marinos continúan siendo escasos. En general, muchos tratamientos lograron reducir considerablemente las infestaciones parasitarias, aunque la eliminación total de los parásitos fue menos frecuente (Figura 3). Los resultados también mostraron una gran variabilidad entre los compuestos: mientras algunos presentaron efectos prometedores, otros resultaron poco eficaces o requerían concentraciones elevadas. Sin embargo, al considerar conjuntamente la eficacia y la seguridad, solo una fracción de los tratamientos mostró potencial para su aplicación en la acuicultura, entre ellos el extracto

crudo de *Dioscorea collettii*, el aceite esencial de *Curcuma longa* y compuestos aislados como ononina, plumbagina y cinamaldehído.

Asimismo, aunque numerosos compuestos vegetales han mostrado actividad antiparasitaria en condiciones experimentales, su validación en sistemas de producción y su eventual transferencia a aplicaciones comerciales continúan siendo limitadas (Brito *et al.* 2026, Tan *et al.* 2026).

Estos resultados ayudan a cuestionar una idea ampliamente asumida: que los productos “naturales” son automáticamente seguros. En realidad, algunos compuestos vegetales pueden tener efectos tóxicos según factores como la concentración utilizada, el tiempo de exposición y la especie de pez tratada (Brito *et al.* 2026, Morales-Serna 2026). Por ello, además de demostrar su eficacia contra los parásitos, resulta fundamental evaluar cuidadosamente la seguridad de

estos tratamientos antes de considerarlos para su aplicación a gran escala.

Aunque diversos compuestos vegetales han mostrado actividad antiparasitaria, en muchos casos los mecanismos responsables de estos efectos permanecen poco comprendidos. De acuerdo con Tan *et al.* (2026), la evidencia disponible sugiere que algunos compuestos pueden actuar mediante daño directo al tegumento del parásito, alteraciones metabólicas o neuromusculares, o la estimulación de respuestas inmunitarias del hospedero. Sin embargo, la identificación de blancos moleculares específicos sigue siendo limitada, lo que dificulta la optimización y el desarrollo racional de nuevos tratamientos.

El desafío de descubrir nuevos antiparasitarios

El descubrimiento de un compuesto con potencial antiparasitario representa solo una etapa inicial. En medicina veterinaria, el desarrollo y la aprobación de nuevos tratamientos pueden requerir múltiples fases de evaluación experimental, validación y aprobación regulatoria antes de considerar su aplicación práctica (Hunter *et al.* 2011).

Aunque numerosos compuestos han mostrado actividad frente a monogéneos, identificar tratamientos realmente eficaces y seguros sigue siendo un desafío importante. Existe una enorme cantidad de sustancias potencialmente utilizables, que incluyen productos naturales, fármacos sintéticos y compuestos químicos de diversa naturaleza. Sin embargo, evaluar experimentalmente cada uno de ellos resulta una tarea compleja y costosa.

La mayoría de los estudios requieren mantener peces infectados en condiciones controladas y, posteriormente, exponerlos a distintos tratamientos, concentraciones y tiempos de aplicación. Además del costo económico y logístico asociado al mantenimiento de organismos vivos, este tipo de investigaciones puede requerir largos periodos de investigación y un elevado número de bioensayos antes de identificar compuestos realmente prometedores.

Otro aspecto importante es el uso de animales de experimentación. Muchas pruebas antiparasitarias implican la utilización y, en algunos casos, el sacrificio de peces para evaluar la eficacia, la toxicidad o los efectos fisiológicos asociados a los tratamientos. Por ello, además de buscar tratamientos eficaces contra los parásitos, resulta necesario desarrollar estrategias de investigación que optimicen y reduzcan el número de experimentos. En este contexto, surge la necesidad de incorporar herramientas que aceleren la búsqueda de nuevos antiparasitarios, prioricen los compuestos de mayor potencial y reduzcan al máximo la experimentación innecesaria en peces.

Herramientas ómicas y computacionales en la búsqueda de antiparasitarios

La identificación limitada de blancos moleculares específicos y la enorme diversidad de compuestos potencialmente útiles han impulsado el interés en herramientas computacionales aplicadas al descubrimiento de nuevos antiparasitarios. En años recientes, los avances en inteligencia artificial y aprendizaje automático han transformado el descubrimiento de fármacos, favoreciendo el desarrollo de estrategias cada vez más guiadas por datos para la identificación y priorización de candidatos terapéuticos (Verma y Kumar 2025). En el ámbito veterinario, estas aproximaciones forman parte de un campo emergente conocido como vetinformática (Pathak y Kim 2025), que integra recursos ómicos, bioinformática, inteligencia artificial y modelado computacional para abordar diversos problemas relacionados con la salud animal.

Entre las herramientas basadas en inteligencia artificial aplicadas al descubrimiento de fármacos, AlphaFold ha despertado especial interés por su capacidad para predecir las estructuras tridimensionales de las proteínas a partir de sus secuencias de aminoácidos (Chakraborty *et al.* 2026). Esta tecnología ha ampliado las posibilidades de la biología estructural al generar modelos proteicos incluso para organismos que carecen de información experimental previa. Como resultado, proteínas que anteriormente resultaban difíciles de estudiar pueden ahora utilizarse para identificar posibles blancos

terapéuticos, caracterizar sitios de unión y facilitar estudios de docking molecular y de virtual screening.

Una aplicación de estas herramientas es el reposicionamiento de fármacos, que consiste en evaluar medicamentos ya existentes para identificar nuevos usos terapéuticos, incluido su posible empleo como antiparasitarios (Panic *et al.* 2014, Ferreira *et al.* 2025). Esta estrategia permite aprovechar información previa sobre la actividad biológica, la seguridad y la farmacología de compuestos ya conocidos, lo que puede acelerar la identificación de candidatos prometedores y reducir los costos asociados al desarrollo de nuevos tratamientos (Pathak *et al.* 2025).

En el caso de los monogéneos, la disponibilidad histórica de recursos moleculares ha sido limitada. Sin embargo, la creciente generación de genomas, transcriptomas y otros recursos ómicos está ampliando las posibilidades de aplicar estrategias de vetinformática

a este grupo de parásitos (Figura 4). Como resultado, en los últimos años han surgido estudios orientados a la identificación de blancos terapéuticos y a la evaluación computacional de compuestos con potencial efecto antimonogéneo.

Uno de los primeros trabajos con estas aproximaciones en monogéneos se basó en el genoma de *Gyrodactylus salaris* para identificar posibles proteínas secretadas de interés farmacológico y evaluar, mediante docking molecular, su interacción con distintos antihelmínticos (Caña-Bozada *et al.* 2021). Los resultados no fueron evaluados experimentalmente. Posteriormente, la generación de transcriptomas de dos especies de monogéneos permitió identificar, mediante análisis de acoplamiento molecular (docking), la bromocriptina como un posible candidato antiparasitario; sin embargo, cuando este compuesto se probó experimentalmente, no mostró efecto antiparasitario en monogéneos (Caña-Bozada *et al.* 2022, 2024).

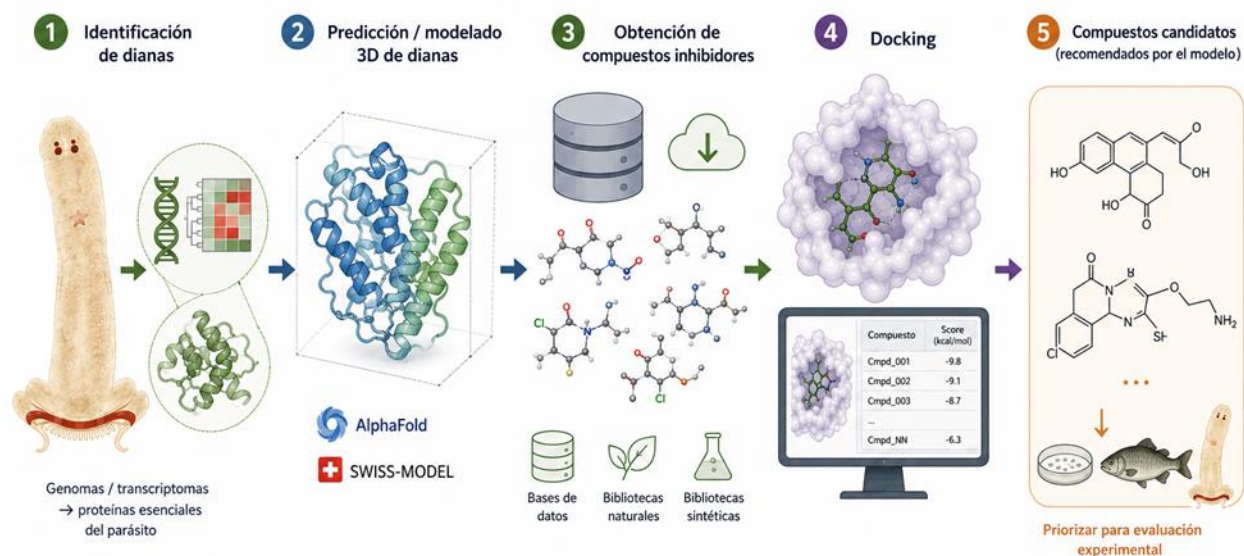


Figura 4. Ejemplo simplificado de un enfoque computacional para priorizar compuestos candidatos contra monogéneos antes de su evaluación experimental. Figura generada mediante inteligencia artificial.

Dong *et al.* (2025) utilizaron β -tubulina, un blanco terapéutico ampliamente reconocido en helmintos, para realizar análisis computacionales y seleccionar compuestos con potencial antiparasitario, algunos de los cuales mostraron alta eficacia antiparasitaria y baja toxicidad para los peces en pruebas experimentales. En otro estudio, Zhang *et al.* (2025) generaron un genoma de alta calidad de una especie monogénea y utilizaron

esta información para identificar posibles blancos terapéuticos y analizar las interacciones moleculares entre el pez y el parásito. A partir de estos análisis, identificaron compuestos que también demostraron alta eficacia frente a los monogéneos en pruebas experimentales. En conjunto, estos avances sugieren que la creciente disponibilidad de recursos genómicos y transcriptómicos, junto con herramientas

bioinformáticas cada vez más sofisticadas, podría mejorar significativamente la capacidad de seleccionar compuestos antiparasitarios prometedores antes de realizar bioensayos en peces.

A pesar de su enorme potencial, las aproximaciones computacionales también presentan limitaciones importantes. Las predicciones dependen en gran medida de la calidad y la cantidad de los datos biológicos disponibles, que siguen siendo escasos para numerosos parásitos de importancia acuícola. Asimismo, muchos modelos simplifican procesos biológicos complejos y no siempre capturan adecuadamente aspectos como la flexibilidad de las proteínas, las interacciones moleculares dinámicas o la complejidad de los sistemas biológicos reales (Pathak *et al.* 2025, Chakraborty *et al.* 2026). Por ello, los resultados obtenidos mediante herramientas *in silico* (generación de datos predictivos y simulaciones computacionales) deben considerarse principalmente como hipótesis de trabajo que requieren validación experimental. En consecuencia, el mayor valor de estas aproximaciones no radica en reemplazar los bioensayos tradicionales, sino en orientar y priorizar de manera más eficiente los esfuerzos experimentales destinados a la búsqueda de nuevos antiparasitarios.

Las 3Rs y el futuro de la investigación antiparasitaria

El desarrollo de nuevas herramientas para la búsqueda de antiparasitarios también se alinea con el principio de las 3Rs (*reemplazo, reducción y refinamiento*), un marco ampliamente utilizado para promover prácticas más éticas en la investigación animal. En general, este enfoque busca reemplazar, reducir y optimizar el uso de animales experimentales siempre que sea posible.

Recientemente, Smit *et al.* (2025) señalaron que la parasitología acuática enfrenta un escenario de creciente atención ética, en el que tecnologías emergentes y nuevos enfoques metodológicos podrían ayudar a disminuir la dependencia de experimentos que requieren el sacrificio de peces. En este contexto, estrategias basadas en bioinformática, inteligencia artificial y modelos predictivos podrían contribuir a optimizar los estudios experimentales y a reducir el número de

organismos empleados en las primeras etapas de la investigación.

Aunque los bioensayos continúan siendo indispensables para validar nuevos tratamientos, la integración de enfoques experimentales y nuevas tecnologías podría representar una vía importante hacia una investigación más eficiente, sostenible y éticamente responsable en acuicultura y parasitología.

Conclusiones

Aunque existen diversos tratamientos con actividad contra monogéneos, sus limitaciones en términos de eficacia, seguridad, impacto ambiental y riesgo de resistencia mantienen vigente la necesidad de identificar alternativas terapéuticas más adecuadas. Esta revisión destaca que la búsqueda de nuevos antiparasitarios puede fortalecerse mediante la integración de recursos ómicos, herramientas computacionales, conocimiento biológico de los parásitos y la validación experimental.

Las investigaciones futuras deberían priorizar la generación y caracterización funcional de recursos moleculares para un mayor número de monogéneos, la identificación y validación de blancos terapéuticos y la evaluación integral de la eficacia y la seguridad de los compuestos seleccionados. La combinación de herramientas computacionales, inteligencia artificial y experimentación podría hacer más eficiente este proceso y reducir el uso de animales en las etapas iniciales de la investigación; sin embargo, estas aproximaciones deben considerarse complementarias y no sustitutivas de la validación experimental.

Literatura citada

- Bader, C., Starling, D. E., Jones, D. E., & Brewer, M. T. (2019). Use of praziquantel to control platyhelminth parasites of fish. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 42, 139–153. <https://doi.org/10.1111/jvp.12735>
- Bu, X., Liu, Y., Peng, X., Huang, L., Ma, W., Chen, J., ... & Yao, J. (2026). Comparative efficacy of herbal extracts and separately bakuchiol against the monogenean parasite

- Gyrodactylus kobayashii* in goldfish. *Veterinary Parasitology*, 342, 110684. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2025.110684>
- Buchmann, K. (2022). Control of parasitic diseases in aquaculture. *Parasitology*, 149(14), 1985–1997. <https://doi.org/10.1017/S0031182022001093>
- Buchmann, K., Roepstorff, A., & Waller, P. J. (1992). Experimental selection of mebendazole-resistant gill parasites from the European eel. *Journal of Fish Diseases*, 15, 393–400. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1992.tb01238.x>
- Caña-Bozada, V., Chapa-López, M., Díaz-Martín, R. D., García-Gasca, A., Huerta-Ocampo, J. Á., de Anda-Jáuregui, G., & Morales-Serna, F. N. (2021). In silico identification of excretory/secretory proteins and drug targets in monogenean parasites. *Infection, Genetics and Evolution*, 93, 104931. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2021.104931>
- Caña-Bozada, V. H., García-Gasca, A., Martínez-Brown, J. M., & Morales-Serna, F. N. (2024). Evaluation of bromocriptine and plumbagin against the monogenean *Rhabdosynochus viridis*: computational drug repositioning and in vitro approaches. *Experimental Parasitology*, 261, 108748. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2024.108748>
- Caña-Bozada, V., Morales-Serna, F. N., Fajer-Ávila, E. J., & Llera-Herrera, R. (2022). De novo transcriptome assembly and identification of G-Protein-Coupled-Receptors (GPCRs) in two species of monogenean parasites of fish. *Parasite*, 29, 51. <https://doi.org/10.1051/parasite/2022052>
- Chaklader, M. R., Woolley, L., Gholipour-Kanani, H., Maita, M., & Partridge, G. (2026). Anthelmintic efficacy of rosemary oil and its nanoemulsion against the monogenean parasite, *Zenxapta seriola*, in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). *Aquaculture Nutrition*, 2026(1), 6414007. <https://doi.org/10.1155/anu/6414007>
- Chakraborty, C., Bhattacharya, M., & Lee, S. S. (2026). The transformative impact of AI-enabled AlphaFold 3: evolution, current status, and future prospects in structural biology. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 9, 1739303. <https://doi.org/10.3389/frai.2026.1739303>
- Costello, M.J., Grant, A., Davies, I.M., Cecchini, S., Papoutsoglou, S., Quigley, D. *et al.* (2001). The control of chemicals used in aquaculture in Europe. *Journal of Applied Ichthyology*, 17(4), 173–180. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2001.00314.x>
- Deveney, M. R., Chisholm, L. A., & Whittington, I. D. (2001). First published record of the pathogenic monogenean parasite *Neobenedenia melleni* (Capsalidae) from Australia. *Diseases of Aquatic Organisms*, 46(1), 79–82. <https://doi.org/10.3354/dao046079>
- Doan, H. V., Soltani, E., Ingelbrecht, J., & Soltani, M. (2020). Medicinal herbs and plants: Potential treatment of monogenean infections in fish. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28, 260–282. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1712325>
- Dong, J., Xia, L., Liu, Y., Yang, Q., Xu, N., Ai, X., & Zhou, S. (2025). Discovery of potential anthelmintic agents against *Gyrodactylus kobayashii* through computer-aided drug design and in vivo evaluation. *Journal of Fish Diseases*, 48, e14102. <https://doi.org/10.1111/jfd.14102>
- Ferreira, H. B., Panesso, M. P., & Guedes, M. M. (2025). Repurposing drugs as anthelmintics: expanding the therapeutic arsenal against parasitic worm infections. In: Gupta, M. N. (ed). *Drug Repurposing: Chemistry, Biochemistry & Red Biotechnology* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781032725826>
- Grano-Maldonado, M. I., Rodríguez-Santiago, M. A., García-Vargas, F., Nieves-Soto, M., & Soares, F. (2018). An emerging infection caused by *Gyrodactylus cichlidarum* Paperna, 1968 (Monogenea: Gyrodactylidae) associated with massive mortality on farmed tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) on the Mexican Pacific coast. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(5), 961–968. <http://dx.doi.org/10.3856/vol46-issue5-fulltext-9>
- Hirazawa, N., Hagiwara, H., Tsubone, S., & Takano, R. (2017). Investigation of the toxicological and histopathological effects of hydrogen peroxide bath treatments at different concentrations on *Seriola* species and the effectiveness of these treatments on *Neobenedenia girellae* (Monogenea) infestations. *Aquaculture*, 479, 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.019>
- Hoai, T. D. (2020). Reproductive strategies of parasitic flatworms (Platyhelminthes, Monogenea): the impact on parasite management in aquaculture. *Aquaculture International*, 28, 421–447. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00471-6>
- Hoai, T. D., & Hutson, K. S. (2014). Reproductive strategies of the insidious fish ectoparasite, *Neobenedenia* sp. (Capsalidae: Monogenea). *PloS One*, 9, e108801. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108801>
- Hunter, R. P., Shryock, T. R., Cox, B. R., Butler, R. M., & Hammelman, J. E. (2011). Overview of the animal health drug development and registration process: an industry perspective. *Future Medicinal Chemistry*, 3, 881–886. <https://doi.org/10.4155/fmc.11.55>
- Jones, S. R. M., Thoney, D. A., & Balfry, S. K. (2015). Comparative efficacy of formalin, freshwater and hydrogen peroxide against *Gyrodactylus corti* infestations on captive wolf-eels (*Anarrhichthys ocellatus*). *Bulletin European Association Fish Pathology*, 35, 1–10.

- Leal, J. F., Neves, M. G. P. M. S., Santos, E. B. H., & Esteves, V. I. (2018). Use of formalin in intensive aquaculture: properties, application and effects on fish and water quality. *Reviews in Aquaculture*, 10, 281–295. <https://doi.org/10.1111/raq.12160>
- Lieke, T., Meinelt, T., Hoseinifar, S. H., Pan, B., Straus, D. L., & Steinberg, C. E. (2020). Sustainable aquaculture requires environmental-friendly treatment strategies for fish diseases. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 943–965. <https://doi.org/10.1111/raq.12365>
- Morales-Serna, F. N. (2026). Plant-derived treatments for monogenean parasites in farmed fish: a systematic review and meta-analysis. *Reviews in Aquaculture*, 18, e70152. <https://doi.org/10.1111/raq.70152>
- Ogawa, K. (2002). Impacts of diclidophorid monogenean infections on fisheries in Japan. *International Journal for Parasitology*, 32(3), 373–380. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(01\)00338-1](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(01)00338-1)
- Panic, G., Duthaler, U., Speich, B., & Keiser, J. (2014). Repurposing drugs for the treatment and control of helminth infections. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, 4(3), 185–200. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2014.07.002>
- Paredes-Trujillo, A., Velázquez-Abunader, I., Papiol, V., del Rio-Rodríguez, R. E., & Vidal-Martínez, V. M. (2021). Negative effect of ectoparasite burdens on the condition factor from farmed tilapia *Oreochromis niloticus* in the Yucatan, Mexico. *Veterinary Parasitology*, 292, 109393. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2021.109393>
- Pathak, R. K., & Kim, J. M. (2025). Introduction to vetinformatics and its application in veterinary science. In: Kim, J. M., & Pathak, R. K. (eds) *Bioinformatics in Veterinary Science*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7395-4_1
- Pathak, R. K., Seo, Y. J., & Kim, J. M. (2025). Vetinformatics approaches in veterinary medicine. In: Kim, J. M., Pathak, R. K. (eds) *Bioinformatics in Veterinary Science*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7395-4_9
- Reverter, M., Tapissier-Bontemps, N., Sasal, P., & Saulnier, D. (2017). Use of medicinal plants in aquaculture. In: Austin, B., & Newaj-Fyzul, A. (eds). *Diagnosis and Control of Diseases of Fish and Shellfish*. John Wiley & Sons, Hoboken. <https://doi.org/10.1002/97811119152125.ch9>
- Rico, A., Satapornvanit, K., Haque, M. M., Min, J., Nguyen, P. T., Telfer, T. C., & van den Brink, P. J. (2012). Use of chemicals and biological products in Asian aquaculture and their potential environmental risks: a critical review. *Reviews in Aquaculture*, 4(2), 75–93. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01062.x>
- Shinn, A., Pratoomyot, J., Bron, J., Paladini, G., Brooker, E., & Brooker, A. (2015). Economic impacts of aquatic parasites on global finfish production. *Global Aquaculture Advocate*, 2015, 82–84.
- Smit, N. J., Selbach, C., Wepener, V., Hilken, G., & Sures, B. (2025). Ethical considerations in lethal sampling of aquatic vertebrate hosts in parasitological studies. *Trends in Parasitology*, 41, 1103–1111. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2025.10.008>
- Tan, X., Yang, C., Zhou, Q., Qu, S., Liu, T., Ling, F., & Wang, G. (2026). The application of herbal medicines for parasite control in aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 18, e70151. <https://doi.org/10.1111/raq.70151>
- Verma, V., & Kumar, D. (2026). Artificial intelligence and machine learning in drug discovery: from lead discovery to clinical validation (2020–2025). *Letters in Drug Design & Discovery*, 22, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.lidd.2026.100341>
- Waller, P. J., & Buchmann, K. (2001). Anthelmintic resistance and parasite control in commercial eel farms: consequences for producers. *Veterinary Record*, 148, 783–784. <https://doi.org/10.1136/vr.148.25.783>
- Whittington, D., & Chisholm, L. (2008). Diseases caused by Monogenea. In: Eiras, J. C., Segner, H., Wahli, T., & Kapoor, G. B. (eds) *Fish Diseases*. Science Publishers, Enfield.
- Yasin, I. S. M., Mohamad, A., Azzam-Sayuti, M., Saba, A. O., & Azmai, M. N. A. (2025). Disease management in aquaculture. In: Mallik, S. K., Shahi, N., Pandey, P. K. (eds) *Management of Fish Diseases*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-0270-4_20
- Zhang, D., Zhao, J. M., Xiang, C. Y., Ma, Y. W., Lei, H. P., Shi, Y. Y. *et al.* (2025). Genome-wide protein interaction analysis in parasitic *Gyrodactylus* flatworms–fish hosts system and drug target identification. *Advanced Science*, 12, e14618. <https://doi.org/10.1002/advs.202514618>