



The Biologist (Lima)



REVIEW ARTICLE / ARTÍCULO DE REVISIÓN

ECOTOXICOLOGICAL EFFECTS OF PESTICIDES ON FRESHWATER SNAILS

EFFECTOS ECOTOXICÓGICOS DE LOS PLAGUICIDAS EN CARACOLAS DULCEACUÍCOLAS

Yahaida Baltazar-Vilcarano¹, Isbeth Ingrid Luyo-Martínez¹; Dámaso Ramírez-Huaroto¹
& José Iannacone^{1,2,3}

¹ Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur, Lima-Perú.

² Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA). Facultad de Ciencias Naturales y Matemática (FCNNM). Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental (GISA). Escuela Universitaria de Posgrado (EUPG). Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV). Lima, Perú.

³ Laboratorio de Zoología. Facultad de Ciencias Biológicas. Grupo de Investigación "One Health". Escuela de posgrado (EPG). Universidad Ricardo Palma (URP). Lima, Perú. E-mail: joseiannacone@gmail.com

* Corresponding author: joseiannacone@gmail.com

Isbeth Ingrid Luyo-Martínez: <https://orcid.org/0009-0005-2546-4367>

Yahaida Marypher Baltazar-Vilcarano: <https://orcid.org/0000-0002-5649-1115>

Damaso Ramirez-Huaroto: <https://orcid.org/0000-0003-4605-9422>

José Iannacone: <https://orcid.org/0000-0003-3699-4732>

ABSTRACT

The increasing use of pesticides generates negative effects on biodiversity by exposing freshwater snails, which stand out as the most affected group of gastropods globally. Therefore, the objective of this research is to analyze the ecotoxicological effects of pesticide exposure on freshwater snails, evaluating the impacts on various organs. For this purpose, a search was carried out in databases such as Scopus, Sciencedirect, Web of Science, and Scielo, in a specific interval of years, 1999-2024. In this context, the articles analyzed focused on the evaluation of different species, especially *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), *Physella acuta* (Draparnaud, 1805), *Chilina parchappii* (d'Orbigny, 1835), and *Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758) due to their sensitivity to various pollutants and adaptation to different laboratory conditions, which facilitates their use in controlled research. Likewise, most of the studies reviewed focused on organophosphate, carbamate, and pyrethroid pesticides, which cause lethal and sublethal effects such as neurotoxicity, oxidative stress, organ damage, and reproductive alterations. In conclusion, ecotoxicological studies on different snail species have provided valuable information on pesticide exposure and effects, highlighting the importance of implementing appropriate conservation and management measures to protect these individuals.

Keywords: aquatic organisms – bioindicator – effects – toxicity

Este artículo es publicado por la revista The Biologist (Lima) de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.



DOI: <https://doi.org/10.62430/rbt20252311987>

RESUMEN

El creciente uso de plaguicidas genera efectos negativos sobre la biodiversidad exponiendo a los caracoles dulceacuícolas, que se destacan como el grupo de gasterópodos más afectados a nivel global. Por ello, el objetivo de esta investigación es analizar los efectos de la exposición a los plaguicidas en los caracoles dulceacuícolas, evaluando los impactos en diversos órganos. Para ello se realizó una búsqueda en bases de datos como Scopus, Sciencedirect, Web of science y Scielo, en un intervalo específico de años, 1999-2024. En este contexto, los artículos analizados se centraron en la evaluación de distintas especies, destacando *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), *Physella acuta* (Draparnaud, 1805), *Chilina parchappii* (d'Orbigny, 1835) y *Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758), debido a su sensibilidad ante diversos contaminantes y adaptación a diversas condiciones de laboratorio, lo que facilita su uso en investigaciones controladas. Asimismo, gran parte de los estudios revisados se enfocaron en los tipos de plaguicidas organofosforados, carbamatos y piretroides, estos causan efectos letales y subletales como neurotoxicidad, estrés oxidativo, daños en órganos y alteraciones reproductivas. En conclusión, los estudios ecotoxicológicos en distintas especies de caracoles han proporcionado información valiosa sobre la exposición de plaguicidas y sus efectos, subrayando la importancia de implementar medidas apropiadas de conservación y manejo para proteger estos individuos.

Palabras clave: bioindicador – efectos – organismos acuáticos – toxicidad

INTRODUCCIÓN

A nivel global, el uso de plaguicidas ha experimentado un notable aumento, pasando de 2,3 millones de T en los años noventa a más de cuatro millones en 2018 (Pereira & Gonçalves, 2007). Aunque estos productos buscan proteger a las plantas, por ende, a las cosechas producidas, genera la proliferación descontrolada de plaguicidas, afectando cerca del 90% de los organismos que no son su objetivo, provocando un impacto negativo en los ecosistemas (Del Puerto *et al.*, 2014). El uso excesivo de plaguicidas no solo daña el ambiente, sino que también se asocia con graves problemas de salud en los humanos, incluyendo afecciones respiratorias, cáncer, trastorno del sistema nervioso y problemas reproductivos que pueden causar malformaciones genéticas. Estos efectos impactan particularmente a las comunidades rurales, afectando de manera especial a los trabajadores agrícolas (Silveira-Gramont *et al.*, 2018; Rosic *et al.*, 2020).

Los plaguicidas se clasifican en función de distintas características, una de ellas es la toxicidad aguda, que se refiere al nivel de peligro inmediato que pueden suponer para los organismos vivos; otra de ellas es la vida media, que indica el tiempo que una sustancia puede permanecer activa antes de descomponerse en el ambiente (Ramírez & Lacañasa, 2001). Los residuos de los plaguicidas se pueden bioacumular en organismos del ecosistema acuático, ocasionando alteraciones cromosómicas, lo que podría desencadenar malformaciones y enfermedades a

largo plazo (Elias, 2022). Además, de afectar a organismos acuáticos, muchos plaguicidas disminuyen las poblaciones de ciertos polinizadores, como abejas y mariposas, lo que pone en riesgo la producción agrícola y la biodiversidad (Rajan *et al.*, 2023).

El uso indiscriminado de plaguicidas peligrosos ha generado una amenaza de impacto global en los ecosistemas lo cual al contaminar los recursos naturales afecta la biodiversidad (Nhan *et al.*, 2001; Castillo *et al.*, 2020). Además, son perjudiciales para la salud humana a largo plazo, provocando enfermedades cancerígenas, neurotóxicas y teratogénicas (Marrero *et al.*, 2017). Entre, los más tóxicos se encuentran los carbamatos que destacan por su toxicidad aguda y la capacidad de intervenir en procesos biológicos claves, como inhibición de la enzima acetilcolinesterasa lo cual origina contracciones rápidas en diferentes músculos conduciendo a la parálisis hasta la muerte (Sánchez *et al.*, 2016). El uso intensivo de carbamatos en la agricultura ha facilitado su ingreso a los ambientes acuáticos, afectando a los organismos de agua dulce y marinos, lo que va a ocasionar la reducción de sus poblaciones es por ello que participan ciertos organismos como *Pseudomonas putida* (Trevisan, 1889) Migula, 1895 y *Rhizobium* sp. en los procesos de biodegradación de los carbamatos (Arman, 2022).

El plaguicida carbaril que pertenece a la familia de los carbamatos es utilizado para el control de plagas en diferentes cultivos agrícolas como el de tomate y durazno

(Rozo & López, 2015). Asimismo, permanece en el ambiente durante algunos días, pero en ese breve período es absorbido por diversos organismos acuáticos como el pez tilapia, *Daphnia magna* Straus, 1820, pez cebra *Danio rerio* (Hamilton-Buchanan, 1822), entre otros (Kristoff *et al.*, 2011). Además, presenta efectos de inhibir la reproducción de diferentes especies acuáticas como el caracol de agua dulce del género *Galba* y el caracol de agua dulce *Planorbella duryi* (Wetherby, 1879) (Tripathi & Singh, 2004). De igual manera, el plaguicida metomilo, perteneciente a la familia de los carbamatos presenta una vida media que varía entre 6 y 262 días en el agua (Lin *et al.*, 2020). Al ingresar al cuerpo de agua, su mezcla con el medio ocurre de forma gradual, acompañada por procesos de degradación y disipación natural de la sustancia química (Fakharany *et al.*, 2011). Sin embargo, su exposición a largo plazo puede provocar neurotoxicidad, citotoxicidad y hepatotoxicidad en especies acuáticas como el caracol de agua dulce *Physa venustula* (Gould, 1847) (Meng *et al.*, 2017).

Por lo tanto, la realización de pruebas ecotoxicológicas es fundamental para evaluar los efectos de los plaguicidas en ecosistemas acuáticos. En Perú, se han identificado diversas especies como bioindicadores de contaminación ambiental, como *P. venustula*, *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774), el pez neón tetra, entre otros; destacándose por su alta sensibilidad a los agentes químicos (Iannacone *et al.*, 2002). Entre estas especies, los caracoles de agua dulce son considerados biomarcadores eficientes para monitorear la contaminación de los ecosistemas acuáticos dado a su estilo de vida y su nutrición (Coutellec *et al.*, 2013). La mayoría de estos individuos presentan un

tamaño pequeño y habitan en ríos, lagunas y pantanos (Torres-Zevallos *et al.*, 2020). Además, la exposición de los caracoles a los plaguicidas puede provocar una disminución en el crecimiento, cambios de comportamiento, daños genéticos y alteraciones en los parámetros hematológicos y bioquímicos (Han *et al.*, 2024). La importancia de estos caracoles dulceacuícolas es científica – tecnológica, debido a que funcionan como biosensor y bioindicador ecológicos la cual cumple para ser empleado como un “kit” de referencia para poder determinar la toxicidad de estos plaguicidas (Iannacone *et al.*, 2013).

En este contexto, en esta investigación de revisión se analizarán los efectos ecotoxicológicos de los plaguicidas en los caracoles dulceacuícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Búsqueda Inicial

El diseño de la presente investigación es tipo analítico siguiendo la metodología PRISMA (Haddaway *et al.*, 2022). Para ello se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica de artículos científicos en las bases de datos de Scopus, Scienedirect, Web of science y Scielo, utilizando las palabras clave “freshwater” AND “snail” AND “pesticides”. Además, se emplearon combinaciones que se acompañaron con el conector booleano AND para limitar la búsqueda de información. Los artículos identificados abarcaron una búsqueda realizada en los últimos 25 años, desde 1999 hasta 2024, debido a que existe información relevante en este rango temporal.

Tabla 1. Criterios de exclusión e inclusión usadas para revisión bibliográfica sobre efectos ecotoxicológicos de los plaguicidas en caracoles dulceacuícolas.

Criterio de Inclusión	Criterio de Exclusión
Artículos originales con acceso abierto escritos en idioma inglés o español.	Artículos de revisión, tesis, libro y otras fuentes secundarias
Efectos ecotoxicológicos de plaguicidas en caracoles dulceacuícolas	Efectos ecotoxicológicos de otras sustancias en caracoles dulceacuícolas
Enfoque en una o más especies de caracoles dulceacuícolas	Artículos que no se puedan acceder a texto completo
Artículos de los últimos 25 años	Artículos escritos en otro idioma diferente al inglés o español

Según los criterios de exclusión e inclusión (Tabla 1) se consideraron de Scopus (15), Sciencedirect (25), Web of Science (16) y Scielo (3). Estos artículos fueron seleccionados por abordar temas relacionados con los efectos agudos y crónicos de los plaguicidas en caracoles dulceacuícolas, así como la bioacumulación de estos compuestos en dichos organismos. Además, se enfocaron

en los órganos afectados, proporcionando un mayor entendimiento, interpretación y síntesis de los resultados.

Finalmente se obtuvieron 59 artículos (Figura 1) en base a los criterios de inclusión y fueron seleccionados para realizar la revisión sistemática conforme a la metodología (Figura 1).

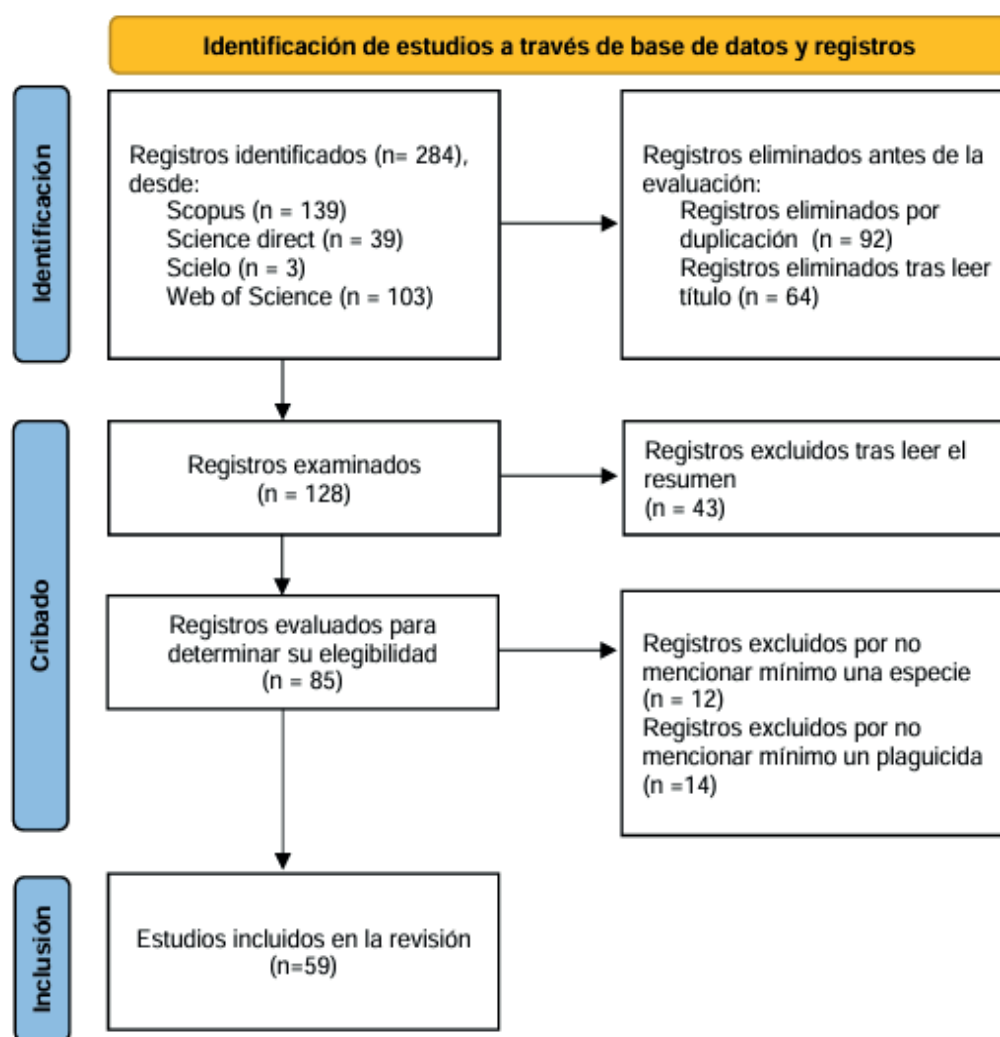


Figura 1. Flujograma prisma para el estudio: “Efectos ecotoxicológicos de los plaguicidas en los caracoles dulceacuícolas”.

Aspectos éticos: Los autores señalan que se cumplieron todas las normas éticas nacionales e internacionales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución geográfica de los artículos en especies de caracoles dulceacuícolas según el país de publicación

Se realizó un análisis de las publicaciones relacionadas con los efectos ecotoxicológicos de los plaguicidas en las distintas especies de caracoles dulceacuícolas, abarcando el periodo comprendido entre 1999 y 2024. Los resultados obtenidos revelan una notable contribución de diversas naciones en este tema (Figura 2). El país con mayor cantidad de artículos es Argentina con 18, seguido de Francia con ocho artículos. Luego, se encuentra Egipto y Reino Unido, con cuatro artículos en cada país.

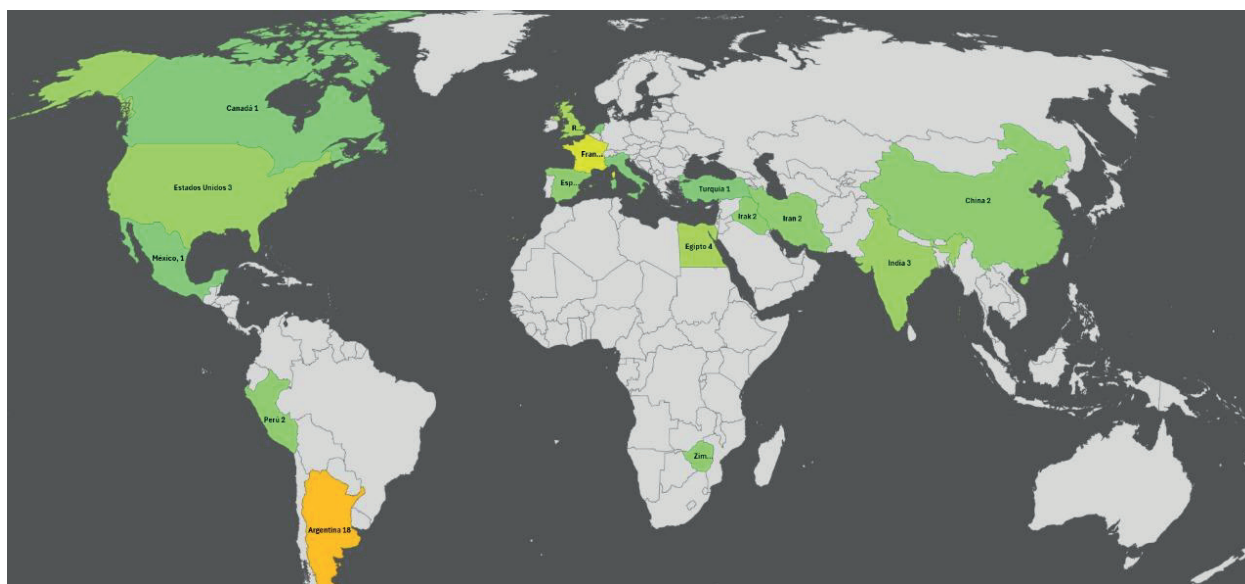


Figura 2. Producción científica según país que evalúan los efectos ecotoxicológicos de los plaguicidas en especies de caracoles dulceacuícolas.

Número de artículos publicados por año

Al realizar una comparación de producción científica por año de los 59 artículos científicos recuperados para el presente trabajo, se puede observar que el tema de investigación sobre los efectos ecotoxicológicos de los plaguicidas sobre caracoles dulceacuícolas ha

experimentado variaciones a lo largo de los años (Figura 3). Entre los años 2005 y 2007 no se encontraron artículos científicos relevantes para la investigación. No obstante, en el 2015 y 2023, se presentó la mayor cantidad de estudios científicos sobre distintas especies de caracoles dulceacuícolas expuestos a diferentes tipos de plaguicidas, con un total de 16 artículos.

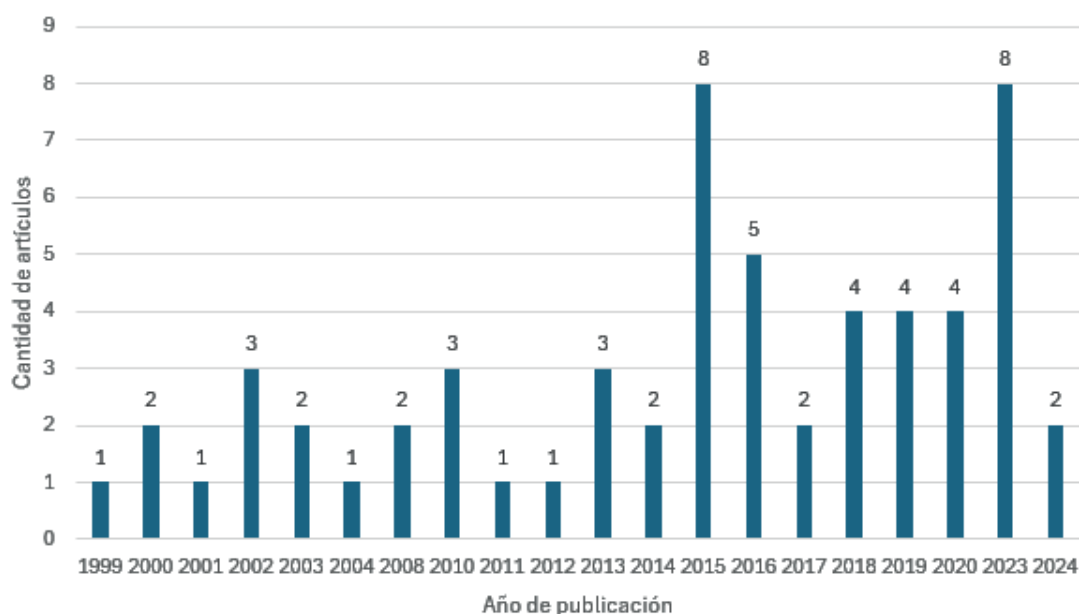


Figura 3. Producción científica por año en efectos ecotoxicológicos de los plaguicidas en caracoles dulceacuícolas.

Caracoles dulceacuícolas afectados por plaguicidas

En la tabla 2, se observan los géneros y especies de los caracoles dulceacuícolas más estudiados dentro de la búsqueda de información dada, asimismo cada una con su nombre común y el nombre científico. Es por ello,

que se identificaron seis géneros y 13 especies de caracoles dulceacuícolas, con mayores estudios de investigación pertenecientes a la clase Gasterópoda. También se vio que el mayor número de especies, así como también la mayor cantidad de autores señalan al género *Lymnaea*, seguido de los géneros *Planorbarius* y *Biomphalaria*.

Tabla 2. Lista de especies de caracoles dulceacuícolas afectadas por plaguicidas

Género	Nombre Científico	Nombre Común	Tipo de Plaguicida	Autores
<i>Lymnaea</i>	<i>Lymnaea stagnalis</i>	Gran Caracol de Estanque	Glifosato, tiametoxam, clotianidina, ciantraniliprol, clorrantraniliprol, metaldehído, butóxido de piperonilo, Diquat	Schleicherová <i>et al.</i> (2024); Kowall <i>et al.</i> (2023); Hallett <i>et al.</i> (2016); Bouétard <i>et al.</i> (2014); Bouétard <i>et al.</i> (2013); Ducrot <i>et al.</i> (2010)
	<i>Lymnaea natalensis</i>	Caracol Radix	carbaril, dimetoato	Basopo <i>et al.</i> (2016); Otero & Kristoff (2016)
	<i>Lymnaea palustris</i>	Caracol del cieno de los pantanos	atrazina, hexaclorobenceno	Russo & Lagadic (2000); Baturó <i>et al.</i> (1995)
	<i>Lymnaea acuminata</i>	Caracol de estanque de India	carbaril	Tripathi & Singh (2004)
<i>Chilina</i>	<i>Chilina parchappii</i>		cipermetrina (CYP), organoclorados (OCs)	Fernández <i>et al.</i> (2020); Girones <i>et al.</i> (2020)
	<i>Chilina gibbosa</i>		azinfos-metilo (AZM),	Herbert <i>et al.</i> (2018); Cossi <i>et al.</i> (2015)
<i>Planorbarius</i>	<i>Planorbarius corneus</i>	Caracol planorbis	carbaril (CB), azinfos-metil (AZM), clorpirifos (CPF)	Cacciatore <i>et al.</i> (2013); Cacciatore <i>et al.</i> (2015); Cacciatore <i>et al.</i> (2018); Otero & Kristoff (2016); Rivadeneira <i>et al.</i> (2013)
<i>Biomphalaria</i>	<i>Biomphalaria glabrata</i>	Caracol con agallas	azinfos-metilo, atrazina	Kristoff <i>et al.</i> (2011); Gustafson <i>et al.</i> (2015); Kristoff <i>et al.</i> (2012)
	<i>Biomphalaria straminea</i>	Caracol con cuerno borrego	clorpirifos	Bianco <i>et al.</i> (2024)
<i>Physella</i>	<i>Physella acuta</i>	Caracol de agua dulce con concha levógira	azinfos-metilo	Horak <i>et al.</i> (2023)
	<i>Physa venustula</i>	Physa sp.	lindano, clorpirifos y metamidofos	Iannacone <i>et al.</i> (2002)
<i>Pomacea</i>	<i>Pomacea canaliculata</i>	Caracol manzana	cipermetrina, lambda-cialotrina	Lavarias <i>et al.</i> (2023); Constantine <i>et al.</i> (2023)
	<i>Pomacea patula catemacensis</i>	Caracol Tego-golo	cipermetrina	Carreón-Palau <i>et al.</i> (2003)

Los estudios sobre los caracoles dulceacuícolas que están siendo afectados por diversos plaguicidas, según nuestro cuadro nombrado la especie más estudiada es *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), han examinado su respuesta a varios tipos de plaguicidas, incluyendo glifosato, clotianidina, metaldehído, y diquat, entre otros (Iannacone *et al.*, 2002). La especie de *L. stagnalis* es un caracol dulceacuícola ampliamente estudiado debido a su sensibilidad a diversos contaminantes y su importancia ecológica en los ambientes acuáticos (Schleicherová *et al.*, 2024). Este caracol es frecuentemente utilizado como organismo bioindicador en estudios de ecotoxicología, ya que responde de manera sensible a la presencia de pesticidas, metales pesados y otros contaminantes en su hábitat (Tripathi & Singh, 2004). Además, tiene un ciclo de vida bien documentado y es relativamente fácil de criar en condiciones de laboratorio, lo que facilita su uso en investigaciones controladas (Bouétiard *et al.*, 2013). Asimismo, el plaguicida más estudiado en diversos estudios es el organofosforado azinfos-metilo (Cacciatore *et al.*, 2018). Al estar expuesto a los caracoles puede provocar una serie de efectos adversos, incluyendo alteraciones en el sistema nervioso, lo cual se manifiesta en cambios de comportamiento y una reducción de la actividad motora (Hallet *et al.*, 2016). Además, los azinfos-metilo pueden interferir en procesos bioquímicos esenciales, como la función enzimática, y comprometer la reproducción, afectando negativamente a la población de caracoles en ambientes contaminados (Rivadeneira *et al.*, 2013).

Vías de exposición de los plaguicidas

Una revisión exhaustiva de los artículos seleccionados permitió identificar las principales fuentes de exposición a los plaguicidas en los caracoles dulceacuícolas. Los resultados indican que las principales vías de exposición a los plaguicidas en estos caracoles dulceacuícolas son por medio de escorrentías agrícolas (66%), y efluentes de aguas residuales tratadas (34%) (Fernández *et al.*, 2020). Asimismo, al tener estas fuentes de exposición va a ocasionar un estrés oxidativo de las enzimas, una bioacumulación en la actividad enzimática y la pérdida de reproducción-desarrollo de los embriones de los caracoles dulceacuícolas (Kristoff *et al.*, 2011).

Los caracoles dulceacuícolas tienen una vida sedentaria y la capacidad de bioacumular sustancias tóxicas en diferentes tipos de ambiente, asimismo son biomarcadores valiosos en estudios de contaminación (Li *et al.*, 2018; Lavarías *et al.*, 2023). Es por ello, los efectos en los diferentes tipos de contaminación van a ocasionar ciertas alteraciones bioquímicas y metabólicas, también cuestión a cambios en la reproducción y desarrollo de estos gasterópodos

acuáticos al estar en una movilización estos animales ya contaminados va a poner en peligro tanto la biodiversidad como la salud de los ecosistemas (Shi *et al.*, 2017; Bianco *et al.*, 2024). En el estudio de Fernández *et al.* (2020), los caracoles sufrieron de acuerdo con las escorrentías agrícolas y esto aumentó de la actividad de las enzimas glutatión-S-transferasa y glutatión peroxidasa, así como mayores niveles de glutatión, lo que sugiere que el sistema antioxidante juega un papel protector. Asimismo, Basopo *et al.* (2016) nos indican que los efectos fisiológicos que la mezcla de carbaril y dimetoato causaron los mayores aumentos en los marcadores de estrés oxidativo y las actividades de las enzimas antioxidantes en comparación con los plaguicidas individuales; como también las actividades de las enzimas antioxidantes como la catalasa, la superóxido dismutasa, el glutatión peroxidasa y el glutatión S-transferasa aumentaron en los caracoles expuestos. Estos resultados sugieren que sus sistemas de defensa antioxidante se activaron para combatir el daño oxidativo (Herbert *et al.*, 2018).

Asimismo, los efluentes de aguas tratadas han afectado la reproducción - desarrollo de los caracoles dulceacuícolas (Tripathi & Singh, 2004). La exposición a dosis subletales de carbaril reduce significativamente la fecundidad de los caracoles, llegando incluso a detener la puesta de huevos a las dosis más altas. Baturo *et al.* (1995) mostraron que el HCB inhibió el crecimiento corporal y estimuló la producción de huevos, mientras que la atrazina no tuvo un efecto significativo sobre estos parámetros fisiológicos (Gagnaire *et al.*, 2008). Asimismo, en cuestión al tipo de contaminación que va a representar un impacto de análisis en los caracoles dulceacuícolas, de acuerdo en los daños causado en los tejidos y órganos (Horak *et al.*, 2023), esto autores nos indica que los daños a los tejidos de la glándula digestiva fueron por las alteraciones reversibles en la renovación de las células epiteliales.

Se ha señalado que la exposición a los plaguicidas organofosforados azinfos-metil (AZM) y clorpirifos (CPF), tanto individualmente como en mezclas binarias, inhibió significativamente la alteración enzimática de la actividad de la colinesterasa (ChE) y la carboxilesterasa (CES) en los tejidos blandos y la hemolinfa de los caracoles (Cossi *et al.*, 2015). Kristoff *et al.* (2012) indican que la actividad de la CES en la glándula digestiva del caracol permaneció altamente inhibida incluso 14 días después de la exposición al azinfos-metil, mientras que la actividad de las B-esterasas en el tejido blando del organismo completo y en la región pulmonar se recuperaron completamente (Kristoff *et al.*, 2011).

Comparación de concentraciones letales de plaguicidas en caracoles dulceacuícolas

En la tabla 4, se identifican cinco tipos de plaguicidas

con sus respectivas concentraciones expresadas en mg/L, considerando diferentes tiempos de exposición y especies de caracoles dulceacuícolas.

Tabla 4. Valores de concentraciones por tipo de plaguicida y su efecto en caracoles dulceacuícolas.

Tipo de plaguicida	Concentración (mg/L)	Autores
Organofosforado	0,05 0,2	Ibrahim & Hussein (2022)
Piretroide	0,15	Ray <i>et al.</i> (2013)
Neonicotinoide	0,2	Vehovszky <i>et al.</i> (2015)
Clorpirifos	0,005 0,01	Khalil (2015)
Cipermetrina	<34 42 50	Fernández <i>et al.</i> (2020)

Por un lado, en el estudio de Ibrahim & Hussein (2022) se observa que a una concentración de 0,05 mg/L de plaguicidas organofosforados resultaba subletal para algunas especies de caracoles dulceacuícolas, mientras que una concentración de 0.2 mg/L generaba letalidad en un 80 % de los individuos expuestos. Ray *et al.* (2013) señalan que los piretroides a concentraciones de 0,15 mg/L causaban la muerte del 60 % de los caracoles en pruebas de laboratorio. Por otro lado, Vehovszky *et al.* (2015) evaluaron los neonicotinoides obteniendo que a una concentración de 0,2 mg/L se presenta una mortalidad del 90% después de 72 h de exposición. Asimismo, en relación al plaguicida clorpirifos se obtuvo un aumento a medida que se incrementa el tiempo de exposición, siendo más letal a exposiciones prolongadas, donde una concentración de 0,005 mg/L causó 100% de mortalidad en 48 h, mientras que 0,01 mg/L causó 100% de mortalidad en solo 1 h

(Khalil, 2015). En el caso de la cipermetrina, al comparar ciertas especies, *Chilina parchappii* (d'Orbigny, 1835) obtuvo una mayor tolerancia de resistencia, en el estudio de Fernández *et al.* (2020) y no se observó mortalidad de caracoles en concentraciones <34 mg/L de cipermetrina; sin embargo, la mortalidad comenzó a las 24 h de exposición a 42 mg/L de cipermetrina y no hubo caracoles sobrevivientes a las 96 h de exposición a 50 mg/L.

Efectos letales y subletales de plaguicidas en caracoles dulceacuícolas

Se observa que en la mayoría de los estudios se centran en investigar los efectos subletales de los plaguicidas en distintas especies de caracoles dulceacuícolas, lo que suma un total de 12 artículos, mientras que ocho son artículos de efectos letales (Figura 4).

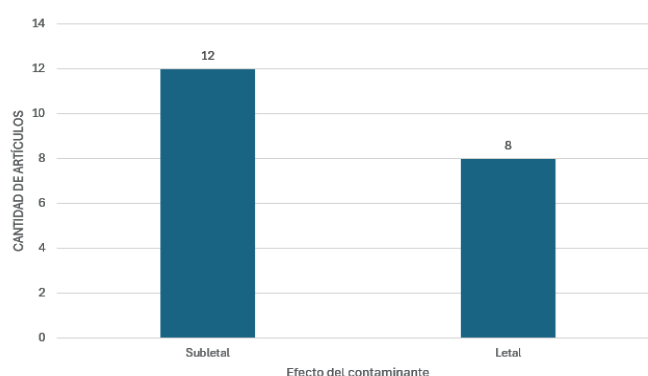


Figura 4. Artículos sobre el efecto letal o subletal de los efectos ecotóxicos de los plaguicidas en caracoles dulceacuícolas.

Los efectos de los pesticidas en los caracoles pueden manifestarse de manera letal o subletal (Kuhn *et al.*, 2014; Abdel-Halim *et al.*, 2019), dependiendo de la concentración y de la resistencia inherente a estos elementos. En el estudio de Fernández *et al.* (2020) se observaron cambios estructurales en la glándula digestiva de los caracoles expuestos a la cipermetrina, como una reducción en el grosor del epitelio, vacuolización de las células digestivas y un aumento en el número de células excretoras. La exposición a imidacloprid conlleva cambios significativos en distintas clases de metabolitos (aminoácidos, nucleótidos, ácidos grasos y poliaminas), como demostró Tufi *et al.* (2015) en los caracoles causando una alteración del metabolismo neuronal y daño celular en el sistema nervioso central. En cuanto del dimetoato, afecta el comportamiento nutricional y reproductivo de los caracoles debido a que inhibe la actividad de la enzima acetilcolinesterasa (AChE) (Banaee *et al.*, 2019). Por último, en relación al carbaril, daña la membrana celular y afecta el funcionamiento de los órganos causando fallas cardíacas o hepáticas e impide la egestión normal como es el caso de la especie *Physella acuta* (Draparnaud, 1805) (Elias & Bernot, 2017), mientras que en el caso de la especie *Helisoma anceps* (Menke, 1830) se presentó una disminución de la tasa de movimiento, lo que conlleva a una reducción en la aptitud física (Gustafson *et al.*, 2015).

En conclusión, los estudios revisados sobre los efectos ecotoxicológicos de los plaguicidas en caracoles dulceacuícolas han demostrado de manera acertada que las distintas especies de caracoles, como *L. stagnalis*, *P. acuta*, *C. parchappii* y *Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758), son ampliamente empleadas como sujetos de investigación debido a su excelente capacidad de comportamiento como bioindicador. Asimismo, el tipo de plaguicida más estudiado con respecto a estas investigaciones es el organofosforado. En relación con las vías de exposición como escorrentía agrícola, se genera un estrés oxidativo en los individuos, activando sus sistemas antioxidantes como respuesta a los contaminantes presentes, como pesticidas y fertilizantes, lo que altera su metabolismo, salud y reproducción. Asimismo, los efluentes de aguas residuales tratadas muestran la bioacumulación de contaminantes, lo cual va a afectar la actividad enzimática, incluyendo la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa conllevando a la alteración de ciertas funciones neuronales. Además, ha afectado negativamente a la reproducción y desarrollo de los caracoles dulceacuícolas, reduciendo la fecundidad y alterando el crecimiento de los embriones. Los resultados de los estudios encontrados indican que, a mayores concentraciones de plaguicida, los individuos muestran un incremento en los efectos adversos en su organismo, cabe señalar que dependerá del tiempo de exposición, si

se presenta desde alteraciones en su comportamiento hasta daño físico y muerte. Es importante destacar que los efectos letales y subletales de los plaguicidas en estos caracoles abarcan alteraciones en ciertos órganos y en el sistema nervioso, esto trae consecuencias negativas en el rendimiento reproductivo y la supervivencia de los caracoles. Es por ello, que los estudios ecotoxicológicos en distintas especies de caracoles han proporcionado información valiosa sobre la exposición de plaguicidas y sus efectos, resaltando la urgente necesidad de implementar medidas apropiadas de conservación y manejo para proteger estos individuos. Por lo tanto, se debe considerar utilizar biomarcadores de neurotoxicidad y estrés oxidativo con la finalidad de monitorear el impacto de plaguicidas en los ecosistemas de aguas dulces.

Author contributions: CRediT (Contributor Roles Taxonomy):

YMBV = Yahaida Marypher Baltazar-Vilcarano

IILM = Isbeth Ingrid Luyo-Martínez

DRH = Damaso Ramirez-Huaroto

JI = José Iannacone

Conceptualization: YMBV, IILM, DRH, JI

Data curation: YMBV, IILM, DRH,

Formal Analysis: YMBV, IILM

Funding acquisition: YMBV, IILM

Investigation: YMBV, IILM, DRH, JI

Methodology: YMBV, IILM, DRH

Project administration: YMBV, IILM, DRH, JI

Resources: YMBV, IILM

Software: YMBV, IILM, JI

Supervision: YMBV, IILM, DRH, JI

Validation: YMBV, IILM, DRH, JI

Visualization: YMBV, IILM, DRH, JI

Writing – original draft: YMBV, IILM, DRH

Writing – review & editing: YMBV, IILM, JI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Halim, K. Y., Mona, M. H., Giesy, J. P., Shouker, F. A., & Osman, S. R. (2019). Cytotoxic effects of persistent organic pollutants on the freshwater snail (*Lanistes carinatus*) in Kafr El-Zayat, Egypt.

- Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 699.
- Arman, S. (2022). Effects of acute and chronic bendiocarb exposure during early life stages of the pond snail (*Lymnaea stagnalis*). *Chemistry and Ecology*, 39, 44–58.
- Banaee, M., Sureda, A., Taheri, S., & Hedayatzadeh, F. (2019). Sub-lethal effects of dimethoate alone and in combination with cadmium on biochemical parameters in freshwater snail, *Galba truncatula*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 220, 62–70.
- Basopo, N., Naik, Y., & Naik, Y. S. (2016). Carbaryl and dimethoate induced alterations of the antioxidant defense system in two freshwater pulmonate snails *Helisoma duryi* and *Lymnaea natalensis*. *Annals of Biological Research*, 7, 1–8.
- Baturo, W., Lagadic, L., & Caquet, T. (1995). Growth, fecundity and glycogen utilization in *Lymnaea palustris* exposed to atrazine and hexachlorobenzene in freshwater mesocosms. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 14, 503–511.
- Bianco, K. A., Martini, C. N., Tejedor, M. J., Paredes, M. G., & Kristoff, G. (2024). Multi-biomarker approach to evaluate the toxicity of chlorpyrifos (active ingredient and a commercial formulation) on different stages of *Biomphalaria straminea*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 281, 109923.
- Bouétard, A., Besnard, A. L., Vassaux, D., Lagadic, L., & Coutellec, M. A. (2013). Impact of the redox-cycling herbicide diquat on transcript expression and antioxidant enzymatic activities of the freshwater snail *Lymnaea stagnalis*. *Aquatic Toxicology*, 126, 256–265.
- Bouétard, A., Côte, J., Besnard, A. L., Collinet, M., & Coutellec, M. A. (2014). Environmental versus anthropogenic effects on population adaptive divergence in the freshwater snail *Lymnaea stagnalis*. *Plos ONE*, 9, e106670.
- Cacciatore, L. C., Nemirovsky, S. I., Verrengia Guerrero, N. R., & Cochón, A. C. (2015). Azinphos-methyl and chlorpyrifos, alone or in a binary mixture, produce oxidative stress and lipid peroxidation in the freshwater gastropod *Planorbarius corneus*. *Aquatic Toxicology*, 167, 12–19.
- Cacciatore, L. C., Verrengia-Guerrero, N., & Cochón, A. C. (2013). Cholinesterase and carboxylesterase inhibition in *Planorbarius corneus* exposed to binary mixtures of azinphos-methyl and chlorpyrifos. *Aquatic Toxicology*, 128–129, 124–134.
- Cacciatore, L. C., Verrengia-Guerrero, N. R., & Cochón, A. C. (2018). Toxicokinetic and toxicodynamic studies of carbaryl alone or in binary mixtures with azinphos methyl in the freshwater gastropod *Planorbarius corneus*. *Aquatic Toxicology*, 199, 276–284.
- Carreón-Palau, L., Uria-Galicia, E., Espinosa-Chávez, F., & Martínez-Jerónimo, F. (2003). Desarrollo morfológico e histológico del sistema reproductor de *Pomacea patula catemacensis* (Baker 1922) (Mollusca, Caenogastropoda: Ampullariidae). *Revista Chilena de Historia Natural*, 76, 665–680.
- Castillo, B., Ruiz, J. O., Manrique, M. A., & Pozo, C. (2020). Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete. *Revista Espacios*, 41, 1–11.
- Constantine, K. L., Makale, F., Mugambi, I., Chacha, D., Rware, H., Muvea, A., Kipngetich, V. K., Tambo, J., Ogunmodede, A., Djeddour, D., Pratt, C. F., Rwomushana, I., & Williams, F. (2023). Assessment of the socio-economic impacts associated with the arrival of apple snail (*Pomacea canaliculata*) in Mwea irrigation scheme, Kenya. *Pest Management Science*, 79, 4343–4356.
- Cossi, P. F., Beverly, B., Carlos, L., & Kristoff, G. (2015). Recovery study of cholinesterases and neurotoxic signs in the non-target freshwater invertebrate *Chilina gibbosa* after an acute exposure to an environmental concentration of azinphos-methyl. *Aquatic Toxicology*, 167, 248–256.
- Coutellec, M., Besnard, A., & Caquet, T. (2013). Population genetics of *Lymnaea stagnalis* experimentally exposed to cocktails of pesticides. *Ecotoxicology*, 22, 879–888.
- Del Puerto, A., Suárez, S., & Palacio, D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52, 372–387.
- Delfina, M.R., Tapfuma, D., Mnkandla, S., & Basopo, N. (2016). Toxicological effects of differently polluted dam waters spiked with pesticides on freshwater snails *Lymnaea natalensis*. *International Journal of Chemistry*, 8, 1–8.

- Ducrot, V., Péry, A. R. R., & Lagadic, L. (2010). Modelling effects of diquat under realistic exposure patterns in genetically differentiated populations of the gastropod *Lymnaea stagnalis*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 1557.
- Elias, D. (2022). Impacto de la toxicidad de los residuos sólidos generados por plaguicidas. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 9, 124-139.
- Elias, D., & Bernot, M. J. (2017). Effects of individual and combined pesticide commercial formulations exposure to egestion and movement of common freshwater snails, *Physa acuta* and *Helisoma anceps*. *American Midland Naturalist*, 178, 97-111.
- Fakharany, I., Massoud, A., Derbalah, A., & Allah, M. (2011). Toxicological effects of methomyl and remediation technologies of its residues in an aquatic system. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3, 332-339.
- Fernández, M., Cortelezzi, A., Albornoz, C. B., Landro, S. M., Arrighetti, F., Najle, R., & Lavarías, S. M. L. (2020). Toxicity of pyrethroid cypermethrin on the freshwater snail *Chilina parchappii*: Lethal and sublethal effects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 196, 110565.
- Gagnaire, B., Geffard, O., Xuereb, B., Margoum, C., & Garric, J. (2008). Cholinesterase activities as potential biomarkers: Characterization in two freshwater snails, *Potamopyrgus antipodarum* (Mollusca, Hydrobiidae, Smith 1889) and *Valvata piscinalis* (Mollusca, Valvatidae, Müller 1774). *Chemosphere*, 71, 553-560.
- Girones, L., Arias, A. H., Oliva, A. L., Recabarren-Villalon, T., & Marcovecchio, J. E. (2020). Occurrence and spatial distribution of organochlorine pesticides in the southwest Buenos Aires using the freshwater snail *Chilina parchappii* as environmental biomonitor. *Regional Studies in Marine Science*, 33, 100898.
- Gustafson, K. D., Belden, J. B., & Bolek, M. G. (2015). The effects of the herbicide atrazine on freshwater snails. *Ecotoxicology*, 24, 1183-1197.
- Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C., & McGuinness, L. A. (2022). PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis. *Campbell Systematic Reviews*, 18, e1230.
- Hallett, K. C., Atfield, A., Comber, S., & Hutchinson, T. H. (2016). Developmental toxicity of metaldehyde in the embryos of *Lymnaea stagnalis* (Gastropoda: Pulmonata) co-exposed to the synergist piperonyl butoxide. *Science of The Total Environment*, 543, 37-43.
- Han, G., Kong, R., Liu, C., Huang, K., Xu, Q., Wu, J., Fei, J., Zhang, H., Su, G., Letcher, R. J., Shi, J., & Rohr, J. R. (2024). Field and laboratory evidence that chlorpyrifos exposure reduced the population density of a freshwater snail by increasing juvenile mortality. *Environmental Science & Technology*, 58, 17543-17554.
- Herbert, L. T., Castro, J. M., Bianchi, V. A., Cossi, P. F., Luquet, C. M., & Kristoff, G. (2018). Effects of azinphos-methyl on enzymatic activity and cellular immune response in the hemolymph of the freshwater snail *Chilina gibbosa*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 150, 71-77.
- Horak, C. N., Miserendino, M. L., & Assef, Y. A. (2023). Multixenobiotic defence mechanism in native and exotic freshwater snails as a biomarker for land uses-changes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology*, 267, 109580.
- Iannaccone, J., Caballero, C., & Alvarino, L. (2002). Artificial rearing of the freshwater snail *Physa venustula* Gould for ecotoxicological studies of pesticides. *Agricultura Técnica*, 62, 321-330.
- Iannaccone, J., La Torre, M. I., Flores, L. A., Cepeda, C., Oroya, H. A., & Argota, G. (2013). Toxicity of the biopesticides *Agave americana*, *Furcraea andina* (Asparagaceae) and *Sapindus Saponaria* (Sapindaceae) on invader snail *Melanoides tuberculata* (Thiaridae). *Neotropical Helminthology*, 7, 231-241.
- Ibrahim, A. M., & Hussein, A. A. (2022). Toxicological impact of organophosphorus Chlorpyrifos 48%EC pesticide on hemocytes, biochemical disruption, and molecular changes in *Biomphalaria alexandrina* snails. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 186, 105154.
- Khalil, A. M. (2015). Toxicological effects and oxidative stress responses in freshwater snail, *Lanistes carinatus*, following exposure to chlorpyrifos. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 116, 137-142.

- Kowall, C. A., Batabyal, A., Lukowiak, K., & Phillips, I. D. (2023). Agricultural use of insecticides alters homeostatic behaviors and cognitive ability in *Lymnaea stagnalis*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 42, 2466-2477.
- Kristoff, G., Cacciatore, L. C., Verrengia-Guerrero, N. R., & Cochón, A. C. (2011). Effects of the organophosphate insecticide azinphos-methyl on the reproduction and cholinesterase activity of *Biomphalaria glabrata*. *Chemosphere*, 84, 585-591.
- Kristoff, G., Chiny Barrionuevo, D., Cacciatore, L. C., Verrengia Guerrero, N. R., & Cochón, A. C. (2012). *In vivo* studies on inhibition and recovery of B-esterase activities in *Biomphalaria glabrata* exposed to azinphos-methyl: Analysis of enzyme, substrate and tissue dependence. *Aquatic Toxicology*, 112-113, 19-26.
- Kuhn, D. D., Smith, S. A., Mainous, M. E., & Taylor, D. P. (2014). Toxicity of tobacco dust to freshwater snails (*Planorbella trivolvis*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquacultural Engineering*, 60, 14-19.
- Lavariás, S. M. L., Peterson, G. B., Lagrutta, L. C., Tropea, C., Colman Lerner, J. E., Rodrigues Capítulo, A., & Ves-Losada, A. (2023). Effect of starvation and pesticide exposure on neutral lipid composition of the digestive gland of males of the apple snails *Pomacea canaliculata*. *Aquatic Toxicology*, 255, 106397.
- Li, Q., Wang, M., Duan, L., Qiu, Y., Ma, T., Chen, L., Breitholtz, M., Bergman, Å., Zhao, J., Hecker, M., & Wu, L. (2018). Multiple biomarker responses in caged benthic gastropods *Bellamya aeruginosa* after in situ exposure to Taihu Lake in China. *Environmental Sciences Europe*, 30, 34.
- Lin, Z., Zhang, W., Pang, S., Huang, Y., Mishra, S., Bhatt, P., & Chen, S. (2020). Current approaches to and future perspectives on methomyl degradation in contaminated soil/water environments. *Molecules*, 25, 738.
- Marrero, S., González, S., Guevara, H., & Eblen, A. (2017). Evaluación de la exposición a organofosforados y carbamatos en trabajadores de una comunidad agraria. *Comunidad y salud*, 15, 30-41.
- Meng, S., Qiu, L., Hu, G., Fan, L., Song, C., Zheng, Y., Wu, W., Qu, J., Li, D., Chen, J., & Xu, P. (2017). Effect of methomyl on sex steroid hormone and vitellogenin levels in serum of male tilapia (*Oreochromis niloticus*) and recovery pattern. *Environmental Toxicology*, 32, 1869-1877.
- Nhan, D. D., Carvalho, F. P., Am, N. M., Tuan, N. Q., Yen, N. T. H., Villeneuve, J. P., & Cattini, C. (2001). Chlorinated pesticides and PCBs in sediments and molluscs from freshwater canals in the Hanoi region. *Environmental Pollution*, 112, 311-320.
- Otero, S., & Kristoff, G. (2016). *In vitro* and *in vivo* studies of cholinesterases and carboxylesterases in *Planorbarius corneus* exposed to a phosphorodithioate insecticide: Finding the most sensitive combination of enzymes, substrates, tissues and recovery capacity. *Aquatic Toxicology*, 180, 186-195.
- Pereira, J., & Gonçalves, F. (2007). Effects of food availability on the acute and chronic toxicity of the insecticide methomyl to *Daphnia* spp. *The Science of the Total Environment*, 386, 9-20.
- Rajan, D. K., Mohan, K., Rajarajeswaran, J., Divya, D., Thanigaivel, S., & Zhang, S. (2023). Toxic effects of organophosphate pesticide monocrotophos in aquatic organisms: A review of challenges, regulations and future perspectives. *Environmental Research*, 244, 117947.
- Ramírez, J. A., & Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Archivos de prevención de riesgos laborales*, 4, 67-75.
- Ray, M., Bhunia, A. S., Bhunia, N. S., & Ray, S. (2013). Density shift, morphological damage, lysosomal fragility and apoptosis of hemocytes of Indian molluscs exposed to pyrethroid pesticides. *Fish & Shellfish Immunology*, 35, 499-512.
- Rivadeneira, P. R., Agrelo, M., Otero, S., & Kristoff, G. (2013). Different effects of subchronic exposure to low concentrations of the organophosphate insecticide chlorpyrifos in a freshwater gastropod. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 90, 82-88.
- Rosic, N., Bradbury, J., Lee, M., Baltrotsky, K., & Grace, S. (2020). The impact of pesticides on local waterways: A scoping review and method for identifying pesticides in local usage. *Environmental Science & Policy*, 106, 12-21.
- Rozo, J., & López, J. (2015). Rutas de degradación del plaguicida n-metil carbamato carbari. *I3+*, 2, 134-147.

- Russo, J., & Lagadic, L. (2000). Effects of parasitism and pesticide exposure on characteristics and functions of hemocyte populations in the freshwater snail *Lymnaea palustris* (Gastropoda, Pulmonata). *Cell Biology and Toxicology*, 16, 15-30.
- Sánchez, V. G., Gutiérrez, C. A., Gomez, D. S., Loewy, M., & Guiñazú, N. (2016). Residuos de plaguicidas organofosforados y carbamatos en aguas subterráneas de bebida en las zonas rurales de Plottier y Senillosa, Patagonia Norte, Argentina. *Acta toxicológica argentina*, 24, 48-57.
- Schleicherová, D., Pastorino, P., Pappalardo, A., Nota, A., Gendusa, C., Mirone, E., Prearo, M., & Santovito, A. (2024). Genotoxicological and physiological effects of glyphosate and its metabolite, aminomethylphosphonic acid, on the freshwater invertebrate *Lymnaea stagnalis*. *Aquatic Toxicology*, 271, 106940.
- Shi, W., Yu, N., Jiang, X., Han, Z., Wang, S., Zhang, X., Wei, S., Giesy, J. P., & Yu, H. (2017). Influence of blooms of phytoplankton on concentrations of hydrophobic organic chemicals in sediments and snails in a hyper-eutrophic, freshwater lake. *Water Research*, 113, 22–31.
- Silveira-Gramont, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Piri-Santana, J., Valenzuela-Quintanar, A. I., Jasa-Silveira, G., & Rodríguez-Olibarria, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de Sonora, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34, 7-21.
- Torres-Zevallos, U., Llontop, C., Alvaríño, L., & Iannaccone, J. (2020). Drástica disminución de la comunidad de gasterópodos en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Biotempo*, 17, 245-258.
- Tripathi, K., & Singh, A. (2004). Carbaryl induced alterations in the reproduction and metabolism of freshwater snail *Lymnaea acuminata*. *Pesticide biochemistry and physiology*, 79, 1-9.
- Tufi, S., Stel, J. M., de Boer, J., Lamoree, M. H., & Leonards, P. (2015). Metabolomics to explore imidacloprid-induced toxicity in the central nervous system of the freshwater snail *Lymnaea stagnalis*. *Environmental Science and Technology*, 49, 14529-14536.
- Vehovszky, Á., Farkas, A., Ács, A., Stoliar, O., Székács, A., Mörtl, M., & Györi, J. (2015). Neonicotinoid insecticides inhibit cholinergic neurotransmission in a molluscan (*Lymnaea stagnalis*) nervous system. *Aquatic Toxicology*, 167, 172-179.

Received February 28, 2025.

Accepted June 12, 2025.