



Neotropical Helminthology



REVIEW ARTICLE / ARTÍCULO DE REVISIÓN

WORLD DISTRIBUTION OF BIOLARVARIAN FISH SPECIES OF THE GENUS *GAMBUSIA* AS A BIOINDICATOR OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY HEAVY METALS

DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE ESPECIES ÍCTICAS BIOLARVIARIAS DEL GÉNERO *GAMBUSIA* COMO BIOINDICADOR DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS

George Argota-Pérez¹; José-Iannacone^{2,3}; Rigoberto Fimia-Duarte⁴ & Ricardo Osés-Rodríguez⁵

¹ Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI". Puno, Perú. george.argota@gmail.com

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

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

⁴ Facultad de Tecnología de la Salud "Julio Trigo López". Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara, Cuba. rigobertofd@informed.sld.cu

⁵ Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, Cuba. ricardo.oses@vcl.insmet.cu

George Argota-Pérez: <https://orcid.org/0000-0003-2560-6749>

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

Rigoberto Fimia-Duarte: <https://orcid.org/0000-0001-5237-0810>

Ricardo Osés-Rodríguez: <https://orcid.org/0000-0002-6885-1413>

ABSTRACT

The aim of the study was to describe the worldwide distribution of the bio-larval fish species of the genus *Gambusia* Poey, 1854 as a bio-monitor of environmental pollution. The Google Scholar database was selected, where the search equation was: "*Gambusia*", "bioindicator", "biomonitoring of environmental pollution", and "heavy metals". The search was analyzed by relevance during the last 20 years and corresponded to the period 2001-2021. The selection of articles was classified as research. A grouping of studies was established in three intervals of years: 2001-2007, 2008-2013 and 2014-2021. The search results cited 295 studies. However, when reviewing each of the scientific publications, only 11 made references to four species: *G. affinis* (Baird & Girard, 1853), *G. holbrooki* (Girard, 1859), *G. punctata* (Poey, 1854), and *G. sexradiata* (Hubbs, 1936). The highest percentage of use to bio-indicate exposure to heavy metals corresponded to the period 2014-2021 with five studies (45.45%) where *G. affinis* was the most used species: seven times (63.64%). It is concluded that the fish of the genus *Gambusia* as an

Este artículo es publicado por la revista *Neotropical Helminthology* de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú auspiciado por la Asociación Peruana de Helmintología e Invertebrados Afines (APHIA). 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: <http://dx.doi.org/10.24039/rnh20221621484>

indicator of contamination by heavy metals have a geographical distribution worldwide, except in Antarctica and *G. affinis* is the one that shows the highest number of reports. In recent years (2014-2021), there has been a greater number of studies and the condition of environmental bioindicator can be assessed together with its purpose as a bioregulatory species.

Keywords: aquatic ecosystems – bioindicator – biomarkers – exposure – *Gambusia*

RESUMEN

El objetivo del estudio fue describir la distribución mundial de las especies ícticas biolarvianas del género *Gambusia* Poey, 1854 como biomonitor de la contaminación ambiental. El estudio se describió en agosto de 2022. Se seleccionó, la base de datos de Google Académico donde la ecuación de búsqueda fue: "*Gambusia*", "bioindicator", "biomonitoring" of environmental pollution, "heavy metals". La búsqueda se analizó, por relevancia durante los últimos 20 años y correspondió al período 2001-2021. La selección de los artículos se clasificó en investigación. Se estableció una agrupación de estudios en tres intervalos de años: 2001-2007, 2008-2013 y 2014-2021. El resultado de la búsqueda citó a 295 estudios. Sin embargo, al revisarse cada una de las publicaciones científicas, solo 11 hicieron referencias a cuatro especies: *G. affinis* (Baird & Girard, 1853), *G. holbrooki* (Girard, 1859), *G. punctata* (Poey, 1854), y *G. sexradiata* (Hubbs, 1936). El mayor porcentaje de utilización para bioindicar la exposición a metales pesados correspondió al período de 2014-2021 con cinco estudios (45,45%) donde la *G. affinis* fue la especie más usada: siete veces (63,64%). Se concluye, que los peces del género gambusia como indicador de la contaminación por metales pesados tienen una distribución geográfica a nivel mundial, menos en la Antártida y es *G. affinis* la que muestra mayores reportes. En los últimos años (2014-2021), existe un mayor número de estudios y puede valorarse de manera conjunta a su propósito como especie biorregulador la condición de bioindicador ambiental.

Palabras clave: biomarcadores – bioindicador – ecosistemas acuáticos – exposición – *Gambusia*

INTRODUCCIÓN

Los peces son taxones superiores en la cadena trófica (Elleuch *et al.*, 2018; López *et al.*, 2020), y una clasificación obedece a su importancia higiénico-sanitaria por ser reguladores de larvas de mosquitos (Iannacone & Alvaríño, 1997; Vargas & Vargas 2003; Fimia *et al.*, 2016). El riesgo, a nivel de los ecosistemas acuáticos ante la presencia de larvas de mosquitos, constituye un serio problema a la salud humana (Kebede *et al.*, 2017; Kapesa *et al.*, 2018), pues transmiten el dengue, la malaria, chikunguña, zika y la filariasis entre otras enfermedades de arbovirus donde se genera alta morbilidad, carga social y hasta la propia muerte humana (Lima *et al.*, 2019; Louis, 2020).

Para la regulación de las larvas de mosquitos se aplican insecticidas sintéticos, pero se observa que existe resistencia con lo cual, continúa el riesgo a la salud pública (Kandel *et al.*, 2019), además de

ocasionar efectos indeseados por la contaminación de las aguas (Pavela, 2015). Sin embargo, bajo estas condiciones de adversidad en el medio acuático existe la capacidad del biocontrol larvario con los peces del género *Gambusia* (Argota *et al.*, 2020).

En el caso de los peces del género *Gambusia* Poey, 1854 son reconocidos a nivel mundial por su depredación larvívora (Van-Dam & Walton, 2007; Dambach, 2020), donde el sitio web: www.fishbase.org (versión 06/2022) menciona, que existe un registro de 45 especies con nombre científico de selección válida, identificándose a *Gambusia zarskei* Meyer, Schories & Scharl, 2010 como especie adicional al sitio: <https://panama.inaturalista.org>, y dado que este último presentó una etiqueta que refiere al grado de calidad en investigación, entonces se seleccionó dicha fuente de información como evaluación de la calidad de datos (Tabla 1).

Tabla 1. Número de especies del género *Gambusia* y estado de conservación según la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza: UICN.

No.	Especie de <i>Gambusia</i>	Autor y año	UICN
1	<i>Gambusia affinis</i>	Baird & Girard (1853)	Preocupación menor
2	<i>Gambusia alvarezi</i>	Hubbs & Springer (1957)	Datos deficientes
3	<i>Gambusia amistadensis</i>	Peden (1973) †	Extinto
4	<i>Gambusia atrora</i>	Rosen & Bailey (1963)	Datos deficientes
5	<i>Gambusia aurata</i>	Miller & Minckley (1970)	Datos deficientes
6	<i>Gambusia baracoana</i>	Rivas (1944)	Datos deficientes
7	<i>Gambusia beebei</i>	Myers (1935)	En peligro crítico
8	<i>Gambusia bucheri</i>	Rivas (1944)	Datos deficientes
9	<i>Gambusia clarkhubbsi</i>	Garrett & Edwards (2003)	Vulnerable
10	<i>Gambusia dominicensis</i>	Regan (1913)	Datos deficientes
11	<i>Gambusia echeagarayi</i>	Álvarez (1952)	Datos deficientes
12	<i>Gambusia eurystoma</i>	Miller (1975)	En peligro crítico
13	<i>Gambusia gaigei</i>	Hubbs (1929)	Vulnerable
14	<i>Gambusia geiseri</i>	Hubbs & Hubbs (1957)	Preocupación menor
15	<i>Gambusia georgei</i>	Hubbs & Peden (1969) †	Extinto
16	<i>Gambusia heterochir</i>	Hubbs (1957)	Vulnerable
17	<i>Gambusia hispaniolae</i>	Fink (1971)	Preocupación menor
18	<i>Gambusia holbrooki</i>	Girard (1859)	Preocupación menor
19	<i>Gambusia hurtadoi</i>	Hubbs & Springer (1957)	En peligro crítico
20	<i>Gambusia krumholzi</i>	Minckley (1963)	Vulnerable
21	<i>Gambusia lemaitrei</i>	Fowler (1950)	Datos deficientes
22	<i>Gambusia longispinis</i>	Minckley (1962)	En peligro
23	<i>Gambusia luna</i>	Rosen & Bailey (1963)	Preocupación menor
24	<i>Gambusia manni</i>	Hubbs (1927)	Preocupación menor
25	<i>Gambusia marshi</i>	Minckley y Craddock (1962)	Preocupación menor
26	<i>Gambusia melapleura</i>	Gosse (1851)	Vulnerable
27	<i>Gambusia monticola</i>	Rivas (1971)	Datos deficientes
28	<i>Gambusia myersi</i>	Ahl (1925)	No evaluada
29	<i>Gambusia nicaraguensis</i>	Günther (1866)	Datos deficientes
30	<i>Gambusia nobilis</i>	Baird & Girard (1853)	En peligro
31	<i>Gambusia panuco</i>	Hubbs (1926)	Datos deficientes
32	<i>Gambusia pseudopunctata</i>	Rivas (1969)	En peligro
33	<i>Gambusia punctata</i>	Poey (1854)	Datos deficientes
34	<i>Gambusia puncticulata</i>	Poey (1854)	Datos deficientes
35	<i>Gambusia quadruncus</i>	Langerhans (2012)	No evaluada
36	<i>Gambusia regani</i>	Hubbs (1926)	Datos deficientes
37	<i>Gambusia rhizophorae</i>	Rivas (1969)	Datos deficientes
38	<i>Gambusia senilis</i>	Girard (1859)	Casi amenazada
39	<i>Gambusia sexradiata</i>	Hubbs (1936)	Datos deficientes
40	<i>Gambusia speciosa</i>	Girard (1859)	Datos deficientes
41	<i>Gambusia vittata</i>	Hubbs (1926)	Preocupación menor
42	<i>Gambusia wrayi</i>	Regan (1913)	Casi amenazada
43	<i>Gambusia xanthosoma</i>	Greenfield (1983)	En peligro
44	<i>Gambusia yucatanana</i>	Regan (1914)	Preocupación menor

†: extinguidas

La evaluación ambiental de los metales pesados dada su persistencia toxicológica, es debido a su degradabilidad muy lenta (Yousafzai *et al.*, 2017; Selvi *et al.*, 2019), y en consecuencia se bioacmulan y biomagnifican en los peces (Dewi & Purwanto, 2014; Doyi *et al.*, 2018, Nabinger *et al.*, 2018; Amatey & Baawain, 2019; Ellis *et al.*, 2020; Sattari *et al.*, 2020; Razak *et al.*, 2021), entonces se consideran para el monitoreo, biomarcadores de predicción temprana (Chan, 1995; Quesada *et al.*, 2013; Naddy *et al.*, 2015; Ezeonyejiaku *et al.*, 2019; Hernandez *et al.*, 2019; Risjani *et al.*, 2020).

Aunque, *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758 es una de las especies que se utilizan para pruebas estándar a nivel internacional para evaluar toxicidades (Muhammad, 2002; Ratningsih, 2008), algunos organismos del género *Gambusia* se han utilizado como centinelas de la contaminación ambiental por metales pesados (Jagoe *et al.*, 1996; Argota & Iannacone, 2017).

El objetivo del estudio fue describir la distribución mundial de las especies ícticas biolarvianas del del género *Gambusia* como biomonitor de la contaminación ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en agosto de 2022. Se seleccionó, la base de datos de Google Académico donde se usó como operador booleano de signo, la comilla para buscar la condición específica sobre cuatro expresiones en idioma inglés, distinguiéndose la ecuación de búsqueda siguiente: "*Gambusia*", "bioindicator", "biomonitoring of environmental pollution", y "heavy metals".

La búsqueda se analizó, por relevancia durante los últimos 20 años y correspondió al período 2001-2021. La selección de los artículos se clasificó en revisión e investigación y por cualquier idioma. Se agrupó la especie y el tipo de estudio que refiere a su condición de biomonitor ambiental, el cual se estableció en tres intervalos de años: 2001-2007, 2008-2013 y 2014-2021.

La Declaración Prisma 2020 en este estudio, no se

consideró, pues la pretensión fue la exploración del número de artículos científicos que hacen referencia a la utilización de especies ícticas biolarvianas del género *Gambusia* como bioindicador de los metales pesados y no, identificar el contraste, discrepancias o contradicciones entre los resultados (cuantitativos y cualitativos) de las investigaciones científicas para su posible evaluación crítica y resumida de la evidencia científica.

A partir, de una silueta planetaria se marcó, los puntos continentales donde se reportan la mayor cantidad de estudios.

Para el análisis de los datos se utilizó, el programa estadístico profesional Statgraphics Centurion v18. El estadígrafo descriptivo de tendencia relativa que se consideró fue el porcentaje.

Aspectos éticos: se indica la exclusión de toda información indebida, pues se muestra para la veracidad de los resultados, la gestión científica desde el registro de revistas indexadas desde la base de datos de Google Académico.

RESULTADOS

Se muestra, la ecuación de búsqueda durante el período 2001-2021, el cual refirió 295 resultados (Figura 1), donde las especies del género *Gambusia* como indicador de la contaminación muestran una distribución mundial siendo muy representativa en el continente de Europa (Figura 2).

Después de realizarse la revisión de cada publicación científica se consideró, únicamente aquellos artículos científicos que contenían las cuatro palabras claves desde el operador booleano donde se halló, que solo 11 publicaciones científicas hicieron referencias a las especies: *G. affinis*, *G. holbrooki*, *G. punctata* y *G. sexradiata*. El período de 2014-2021 indicó, el mayor número de estudios (cinco: 45,45%) donde la *G. affinis* fue la especie que más se utilizó como bioindicador de la contaminación por metales pesados: siete veces (63,64%) (Tabla 2).

The screenshot shows the Google Académico search interface. The search bar contains the query: "gambusia", "bioindicator", "biomonitoring" of environmental pollution, "heavy". The results show approximately 295 results in 0.06 seconds. Two articles are visible:

- Article 1:** "A multi-level approach using *Gambusia affinis* as a bioindicator of environmental pollution in the middle-lower basin of Suquia River". Authors: GE Rautenberg, MV Amé, MV Monferrán. Published in Ecological ... in 2015 by Elsevier. It discusses *Gambusia affinis* as a bioindicator of environmental pollution parameters, heavy metals, and pesticides concentrations in biomonitoring programs.
- Article 2:** "Study on the heavy metal bioconcentrations of the Shadegan international wetland mosquitofish, *Gambusia affinis*, by inductively coupled plasma technique". Authors: H Nasirian, AH Mahvi, M Hosseini. Published in Environmental Health ... in 2013 by Springer. It discusses *Gambusia affinis* as a bioindicator of heavy metal pollution of environment contaminants such as heavy metals in biomonitoring of water pollution.

Navigation and filtering options include: "Cualquier momento" (Any time), "Desde 2022", "Desde 2021", "Desde 2018", "Intervalo específico" (Specific interval) with a date range of 2001 to 2021, and sorting options: "Ordenar por relevancia" (Sort by relevance) and "Ordenar por fecha" (Sort by date).

Figura 1. Gestión de la información / base de datos de Google Académico.



Fuente de imagen:

<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTQVOTw70GPlz5gHwr4Z530ik4P0NbdREIEA&usqp=CAU>

Figura 2. Distribución mundial del uso de especies *Gambusia* como indicador de la contaminación.

Tabla 2. Especies de *Gambusia* utilizadas para el biomonitoreo / exposición a metales pesados a nivel mundial.

Especie	Año	Título	Autor(es)	Revista
<i>G. affinis</i> (Baird & Girard, 1853)	2003	Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review	van der Oost <i>et al.</i>	Environmental Toxicology and Pharmacology, vol. 13, pp. 57-149.
<i>G. holbrooki</i> (Girard, 1859)	2004	Macroinvertebrate response to acid mine drainage: community metrics and on-line behavioural toxicity bioassay	Gerhardt <i>et al.</i>	Environmental Pollution, vol. 130, pp. 263-274.
<i>G. affinis</i> (Baird & Girard, 1853)	2009	The comet assay for the evaluation of genotoxic impact in aquatic environments	Frenzilli <i>et al.</i>	Mutation Research/Reviews in Mutation Research, vol. 681, pp. 80-92.
<i>G. affinis</i> (Baird & Girard, 1853)	2010	Innovative environmental solution: in vivo monitoring of the oil and gas activities in onshore and offshore areas	Casini <i>et al.</i>	Society of Petroleum Engineers SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production - Rio de Janeiro, Brazil. pp. 1-10.
<i>G. affinis</i> (Baird & Girard, 1853)	2013	Study on the heavy metal bioconcentrations of the Shadegan international wetland mosquitofish, <i>Gambusia affinis</i> , by inductively coupled plasma technique	Nasirian <i>et al.</i>	Journal of Environ Health Science Engineering, vol. 11, pp. 1-10.
<i>G. punctata</i> (Poey, 1854)	2013	Características de <i>Gambusia punctata</i> para su selección como biomonitor en ecotoxicología acuática en Cuba	Argota <i>et al.</i>	The Biologist (Lima), vol. 11, pp. 229-236.
<i>G. affinis</i> (Baird & Girard, 1853)	2014	Mosquito fish, <i>Gambusia affinis</i> (Baird & Girard, 1853) as bioindicator for water pollution with lead	Mashaan & Qasim	Journal of International Environmental Application & Science, vol. 9, pp. 284-292.
<i>G. affinis</i> (Baird & Girard, 1853)	2015	A multi-level approach using <i>Gambusia affinis</i> as a bioindicator of environmental pollution in the middle -lower basin of Suquia River	Rautenberg <i>et al.</i>	Ecological Indicators, vol. 48, pp. 706-720.
<i>G. affinis</i> (Baird & Girard, 1853)	2017	Assessment of metal contamination in the biota of four rivers experiencing varying degrees of human impact	Bielmyer <i>et al.</i>	Environmental Monitoring and Assessment, vol. 189, pp. 1-17.
<i>G. punctata</i> (Poey, 1854)	2017	Predicción cuantitativa de riesgo histórico entre ecosistemas impactados y de referencia ambiental mediante uso permanente de biomarcadores como nuevo criterio para biomonitores en ecotoxicología acuática	Argota & Iannacone	The Biologist (Lima), vol. 15, pp. 141-153.
<i>G. sexradiata</i> (Hubbs, 1936)	2020	Effect of salinity on zinc toxicity (ZnCl ₂ and ZnO nanomaterials) in the mosquitofish (<i>Gambusia sexradiata</i>)	Pérez <i>et al.</i>	Environmental Science and Pollution Research, vol. 27, pp.22441-22450.

Se muestra, la relevancia de cada publicación científica que refiere a las especies *Gambusia* como bioindicador de la contaminación por metales pesados (Tabla 3).

Tabla 3. Relevancia como bioindicador en las especies *Gambusia* ante la exposición a metales pesados a nivel mundial.

Especie	Autor / año	Relevancia
<i>G. affinis</i>	van der Oost <i>et al.</i> (2003)	Bioacumulación y biomarcadores en peces para el análisis de la evaluación de riesgo en ecosistemas acuáticos
<i>G. holbrooki</i>	Gerhardt <i>et al.</i> (2004)	Método de bioevaluación desde la combinación de parámetros de calidad del agua con ensayos de toxicidad
<i>G. affinis</i>	Frenzilli <i>et al.</i> (2009)	Potencial del ensayo cometa (electroforesis de gel en células nucleadas) para la evaluación del daño genotóxico en sistemas acuáticos ante la exposición a metales
<i>G. affinis</i>	Casini <i>et al.</i> (2010)	Enfoque de los biomarcadores para los estudios de la contaminación por hidrocarburos y elementos trazas de la industria petrolera
<i>G. affinis</i>	Nasirian <i>et al.</i> (2013)	Uso como bioindicador de la contaminación por metales en ecosistemas marinos y humedales
<i>G. punctata</i>	Argota <i>et al.</i> (2013)	Características como biomonitor para la ecotoxicología acuática en Cuba
<i>G. affinis</i>	Mashaan & Qasim (2014)	Evaluación de respuesta conductual ante la resistencia al plomo como resultado de la aclimatación
<i>G. affinis</i>	Rautenberg <i>et al.</i> (2015)	Evaluación centinela para el monitoreo de la calidad ambiental mediante el análisis integrado de los parámetros de calidad del agua (incluyendo a metales pesados) con parámetros histológicos, morfológicos y moleculares
<i>G. affinis</i>	Bielmyer <i>et al.</i> (2017)	Bioevaluación de metales pesados en la calidad del agua
<i>G. punctata</i>	Argota & Iannacone (2017)	Predicción cuantitativa mediante biomarcadores permanentes como criterio en ecotoxicología acuática para biomonitores
<i>G. sexradiata</i>	Pérez <i>et al.</i> (2020)	Bioindicador de la toxicidad al Zn ante cambios de salinidad

DISCUSIÓN

Se indica, que más de 253 peces incluyendo a las especies exóticas y autóctonas se consideran para el biocontrol de mosquitos en todo el mundo y entre ellas destacan la *G. affinis* y *G. holbrooki* (Gerberich & Laird, 1985; Chandra *et al.*, 2008). En el caso de la *G. affinis*, al reconocerse su elevada capacidad larvívora se extrajo de manera deliberada de su hábitat natural (sur del río Mississippi, Estados Unidos) y se introdujo inicialmente en las islas de Hawái (1905), luego a España (1921), Italia (1920) y posteriormente, a

más de 60 países (Gerberich, 1985; Gerberich & Laird, 1985).

En este estudio la *G. affinis* mostró, el mayor número de evaluaciones como bioindicador de la contaminación durante los últimos 20 años. Asimismo, el bajo número con respecto a las especies *G. punctata* y *G. sexradiata*, probablemente obedezcan a su presencia en hábitat locales y a pesar, que la *G. holbrooki* igualmente ha sido introducida como control vectorial a nivel mundial, existió un solo estudio de consideración como especie bioindicador. Aunque, la *G. sexradiata* tiene un hábitat mayor en Belice,

Guatemala y México comparada con la *G. punctata* que habita en Cuba, pero se reporta para esta última especie su consideración en diversos estudios como biomonitor ante la exposición a metales pesados (Argota & Iannacone, 2021).

Se observó, que el uso de especies del género *Gambusia* como indicador de la contaminación por metales pesados, mostró su representación en todos los continentes, a excepción de la Antártida. El número de estudios (11) que se registró desde la base de datos de Google Académico puede considerarse bajo y ello resulta una contradicción para la ciencia, pues se reconoce que las especies del género al ser tolerantes a la contaminación permiten realizar, diversos análisis cuantitativos y en consecuencia, se esperaría mayor número de investigaciones.

La principal limitación del estudio fue la falta de descripción y su distribución geográfica mundial en otras bases de datos científicas, además, de su búsqueda comparada en idioma español.

Se concluye, que los peces del género *Gambusia* como indicador de la contaminación por metales pesados tienen una distribución geográfica a nivel mundial, menos en la Antártida y es *G. affinis* la que muestra mayores reportes. En los últimos años (2014-2021), existe un mayor número de estudios lo cual demuestra, probable consideración para un doble propósito: biorregulación larvaria y bioindicador ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amoatey, P. & Baawain, MS. 2019. *Effects of pollution on freshwater aquatic organisms*. *Water Environment Research*, vol. 91, pp. 1272-1287.
- Argota, PG, Iannacone, O. & Fimia, DR. 2013. *Características de Gambusia punctata para su selección como biomonitor en ecotoxicología acuática en Cuba*. *The Biologist* (Lima), vol. 11, pp. 229-236.
- Argota, PG, Fimia, DR, Iannacone, J. & Alarcón-Elbal, PM. 2020. *Crecimiento ante la respuesta visual y regímenes prolongados de alimentación en el biorregulador larval de mosquitos Gambusia punctata Poey, 1854*. *Neotropical Helminthology*, vol. 14, pp. 1-6.
- Argota, PG. & Iannacone, J. 2017. *Predicción cuantitativa de riesgo histórico entre ecosistemas impactados y de referencia ambiental mediante uso permanente de biomarcadores como nuevo criterio para biomonitores en ecotoxicología acuática*. *The Biologist* (Lima), vol. 15, pp. 141-153.
- Argota, PG. & Iannacone, OJA. 2021. *Axiología basada en la experiencia mediante el biorregulador larvario Gambusia punctata (Poey, 1854) durante el período 2011-2021*. *Neotropical Helminthology*, vol. 15, pp. 193-198.
- Bielmyer, F, Gretchen, K, Waters, MN, Duckworth, CG, Patel, PP, Webster, BC, Blocker, A, Crummey, CH, Duncan, AN, Nwokike, SN, Picariello, CR, Ragan, JT, Schumacher, EL, Tucker, RL, Tuttle, EA. & Wiggins, CR. 2017. *Assessment of metal contamination in the biota of four rivers experiencing varying degrees of human impact*. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 189, pp. 1-17.
- Casini, S, Ferraro, M, Marsili, L, Caliani, I. & Fossi, MaC. 2010. *Innovative environmental solution: in vivo monitoring of the oil and gas activities in onshore and offshore areas*. *Society of Petroleum Engineers SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production - Rio de Janeiro, Brazil*. pp. 1-10.
- Chan, K.M. 1995. *Metallothionein: potential biomarker for monitoring heavy metal pollution in fish around Hong Kong*. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 31, pp. 411-415.
- Chandra G, Bhattacharjee I, Chatterjee SN & Ghosh A. 2008. *Mosquito control by larvivorous fish*. *Indian Journal of Medical Research*, vol. 127, pp. 13-21.
- Dambach, P. 2020. *The use of aquatic Predators for larval control of mosquito disease vectors: Opportunities and limitations*. *Biological Control*, vol. 150, pp. 1-33.
- Dewi, NK. & Purwanto, HRS. 2014. *Metallothionein in the fish liver as biomarker of cadmium (Cd) pollution in Kaligarang river Semarang*. *Journal People*

- Environmental, vol. 21, pp. 304-309.
- Doyi, I, Essumang, D, Gbeddy, G, Dampare, S, Kumassah, E. & Saka, D. 2018. *Spatial distribution, accumulation and human health risk assessment of heavy metals in soil and groundwater of the Tano Basin, Ghana. Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 165, pp. 540-546.
- Elleuch, B, Bouhamed, F, Elloussaief, M, Jaghbir, M. 2018. *Environmental sustainability and pollution prevention. Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, pp. 18223-18225.
- Ellis, LJA, Kissane, S, Hoffman, E, Brown, JB, Valsami, JE, Colbourne, J. & Lynch, I. 2020. *Multigenerational exposures of Daphnia magna to pristine and aged silver nanoparticles: epigenetic changes and phenotypical ageing related effects. Small*, vol. 16, pp. 1-15.
- Ezeonyejaku, CD, Okoye, CO & Ezenwelu, CO. 2019. *Toxicity and bioaccumulation studies of heavy metals on a freshwater fish. International Journal of Oceanography*, vol. 8, pp. 1-8.
- Fimia, DR, Iannacone, J, Alarcón, EPM, Hernández, CN, Armiñana, GR, Cepero, RO, Cabrera, GAM. & Zaita, FY 2016. *Potencialidades del control biológico de peces y copépodos sobre mosquitos (Diptera: Culicidae) de importancia higiénica-sanitaria en la provincia Villa Clara, Cuba. The Biologist (Lima)*, vol. 14, pp. 371-386.
- Frenzilli, G, Nigro, M. & Lyons, BP. 2009. *The Comet assay for the evaluation of genotoxic impact in aquatic environments. Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, vol. 681, pp. 80-92.
- Gerberich, JB. 1985. *Update of annotated bibliography of papers relating to control of mosquitoes by the use of fish for the years 1965. Geneva, World Health Organization, 1985 (unpublished document VBC/ 85.917.*
- Gerberich, JB. & Laird, M. 1985. *Larvivorous fish in the biocontrol of mosquitoes, with a selected bibliography of recent literature. Integrated mosquito control methodologies*, vol. 2, pp. 47-76.
- Gerhardt, A, Janssens de Bisthoven, L. & Soares, AMVM. 2004. *Macroinvertebrate response to acid mine drainage: community metrics and on-line behavioural toxicity bioassay. Environmental Pollution*, vol. 130, pp. 263-274.
- Hernandez, F, Bakker, J, Bijlsma, L, de Boer, J, Botero, CAM, Bruinen de Bruin, Y, Fischer, S, Hollender, J, Kasprzyk, HB, Lamoree, M, Lopez, FJ, te Laak, TL., van Leerdam, JA, Sancho, JV, Schymanski, EL, de Voogt, P. & Hogendoorn, EA. 2019. *The role of analytical chemistry in exposure science: focus on the aquatic environment. Chemosphere*, vol. 222, pp. 564-583.
- Iannacone, J. & Alvariano, L. 1997. *Peces larvivoros con potencial para el control biológico de estados inmaduros de zancudos en el Perú. Revista peruana de Entomología*, vol. 40, pp. 9-19.
- Jago, CH, Faivre, A. & Newman, MC. 1996. *Morphological and morphometric changes in the gills of mosquitofish (Gambusia holbrooki) after exposure to mercury (II). Aquatic Toxicology*, vol. 34, pp. 163-183.
- Kandel, Y, Vulcan, J, Rodriguez, SD, Moore, E, Chung, HN, Mitra, S, Cordova, JJ, Martinez, KJL, Moon, AS, Kulkarni, A, Etestad, P, Melman, S, Xu, J, Buenemann, M, Hanley, KA. & Hansen, IA. 2019. *Widespread insecticide resistance in Aedes aegypti L. from New Mexico, U.S.A. PLoS ONE*, vol. 14, pp. 1-16.
- Kapesa, A, Kweka, EJ, Atieli, H, Afrane, YA, Kamugisha, E, Lee, MC. & Yan, G. 2018. *The current malaria morbidity and mortality in different transmission settings in Western Kenya. PLoS One*, vol. 13, pp. 1-19.
- Kebede, DL, Hibstu, DT, Birhanu, BE. & Bekele, FB. 2017. *Knowledge, Attitude and Practice Towards Malaria and Associated Factors in Areka Town, Southern Ethiopia: Community-Based CrossSectional Study. Journal of Tropical Diseases*, vol. 5, pp. 1-10.
- Lima, NAS, Sousa, GS, Nascimento, OJ. & Castro, MC. 2019. *Chikungunya-attributable deaths: a neglected outcome of a neglected disease. PLOS Neglected Tropical Diseases*, vol. 13, pp. 1-5.
- López, PM, Varela, Z, Franco, D, Fernández, JA. & Aboal, JR. 2020. *Can proteomics contribute to biomonitoring of aquatic pollution? A critical review. Environmental Pollution*,

- vol. 267, pp. 1-12.
- Louis, MRL, Pushpa, V, Balakrishna, K. & Ganesan, P. 2020. Mosquito larvicidal activity of Avocado (*Persea americana* Mill.) unripe fruit peel methanolic extract against *Aedes aegypti*, *Culex quinquefasciatus* and *Anopheles stephensi*. South African Journal of Botany, vol. 133, pp. 1-4.
- Mashaan, RA. & Qasim, TW. 2014. Mosquito fish, *Gambusia affinis* (Baird & Girard, 1853) as bioindicator for water pollution with lead. Journal of International Environmental Application & Science, vol. 9, pp. 284-292.
- Muhammad, F. 2002. Penentuan toksisitas air limbah dengan indikator Ikan Tombro (*Cyprinus carpio*). Majalah Ilmiah Biologi BIOMA, vol. 4, pp. 54-58.
- Nabinger, DD, Altenhofen, S, Bitencourt, PER, Nery, LR, Leite, CE, Vianna, MRMR. & Bonan, CD. 2018. Nickel exposure alters behavioral parameters in larval and adult zebrafish. Science of the Total Environment, vol. 624, pp. 1623-1633.
- Naddy, RB, Cohen, AS & Stubblefield, WA. 2015. The interactive toxicity of cadmium, copper, and zinc to *Ceriodaphnia dubia* and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Environmental Toxicology and Chemistry, vol. 34, pp. 809-815.
- Nasirian, H, Mahvi, AH, Hosseini, M, Vazirianzadeh, B, Taghi SSM. & Nazmara, S. 2013. Study on the heavy metal bioconcentrations of the Shadegan international wetland mosquitofish, *Gambusia affinis*, by inductively coupled plasma technique. Journal of Environ Health Science Engineering, vol. 11, pp. 1-10.
- Pavela, R. 2015. Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review. Industrial Crops and Products, vol. 76, pp. 174-187.
- Pérez, LA, Núñez, NG, Álvarez, GCA, De la Rosa, GS, Uribe, LM, Quintana, P. & Peña, MES. 2020. Effect of salinity on zinc toxicity ($ZnCl_2$ and ZnO nanomaterials) in the mosquitofish (*Gambusia sexradiata*). Environmental Science and Pollution Research, vol. 27, pp. 22441-22450.
- Quesada, GA, Valdehita, A, Torrent, F, Villarroel, M, Hernando, MD. & Navas, JM. 2013. Use of fish farms to assess river contamination: combining biomarker responses, active biomonitoring, and chemical analysis. Aquatic Toxicology, vol. 140-141, pp. 439-448.
- Ratningsih, N. 2008. Uji toksisitas molase pada respirasi ikan mas (*Cyprinus carpio* L.). Journal Biotika, vol. 6, pp. 22-33.
- Rautenberg, GE, Amé, MaV, Monferrán, MV, Bonansea, RI & Hued, AC. 2015. A multi-level approach using *Gambusia affinis* as a bioindicator of environmental pollution in the middle-lower basin of Suquia River. Ecological Indicators, vol. 48, pp. 706-720.
- Razak, MR, Aris, AZ, Zakaria, NAC, Wee, SY. & Ismail, NAH. 2021. Accumulation and risk assessment of heavy metals employing species sensitivity distributions in Linggi River, Negeri Sembilan, Malaysia. Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 211, pp. 1-12.
- Risjani, Y, Loppion, G, Couteau, J, Yunianta, Y, Widowati, A, Hermawati, A & Minier, C. 2020. Genotoxicity in the rivers from the Brantas catchment (East Java, Indonesia): occurrence in sediments and effects in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). Environmental Science and Pollution Research, vol. 27, pp. 21905-21913.
- Sattari, M, Bibak, M, Vajargah, MF & Faggio, C. 2020. Trace and major elements in muscle and liver tissues of *Alosa braschnikowy* from the South Caspian Sea and potential human health risk assessment. Journal of Materials and Environmental Science, vol. 10, pp. 1129-1140.
- Selvi, A, Rajasekar A, Theerthagiri J, Ananthaselvam A, Sathishkumar K, Madhavan J & Rahman PKSM. 2019. Integrated remediation processes toward heavy metal removal/recovery from various environments-a review. Frontiers in Environmental Science, vol.7, 66.
- van der Oost, R, Beyer, J. & Vermeulen, NPE. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. Environmental Toxicology and Pharmacology, vol. 13, pp. 57-149.
- Van-Dam, AR. & Walton, WE. 2007. Comparison of mosquito control provided by the arroyo chub (*Gila orcutti*) and the mosquitofish

- (*Gambusia affinis*). *Journal of the American Mosquito Control*, vol. 23, pp. 430-441.
- Vargas, VM. & Vargas, C. 2003. *Male and mosquito larvae survey at the Arenal Tempisque irrigation project, Guanacaste, Costa Rica*. *Revista de Biología Tropical*, vol. 51, pp. 759-762.
- Yousafzai, AM, Ullah, F, Bari, F, Raziq, S, Riaz, M, Khan, K, Nishan, U, Sthanadar, IA, Shaheen, B, Shaheen, M, & Ahmad, H. 2017. *Bioaccumulation of some heavy metals: Analysis and comparison of Cyprinus carpio and Labeo rohita from Sardaryab, Khyber Pakhtunkhwa*. *BioMed Research International*, vol. 2017, 5801432.

Received September 2, 2022.
Accepted October 27, 2022.