



Neotropical Helminthology



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

VELOCITY OF DISPLACEMENT-FOOD CAPTURE AND BIOACCUMULATION TO CADMIUM IN THE VERTEBRAL SPINE OF *GAMBUSIA PUNCTATA* (POEY, 1854)

VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO-CAPTURA DE ALIMENTO Y BIOACUMULACIÓN A CADMIO EN LA ESPINA VERTEBRAL DE *GAMBUSIA PUNCTATA* (POEY, 1854)

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 Parasitología. Facultad de Ciencias Biológicas. Grupo de Investigación "One Health". Universidad Ricardo Palma (URP). Lima, Perú. joseiannacone@gmail.com

³ Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental (GISA), Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV). Lima, Perú.

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
Corresponding author: george.argota@gmail.com

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

José Iannacone: <http://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 determine the speed of displacement-capture of the food (SDCF) and the bioaccumulation of cadmium in the backbone of *Gambusia punctata* (Poey, 1854). The study was carried out in the San Juan River in Santiago de Cuba, Cuba. After sampling with five adult specimens, each one was placed in glass aquariums (20 x 20 x 30 cm) with a density of 1 g/L, without continuous flow of water, or oxygenation and room temperature ≈ 29 °C. During 48 h, the swimming pattern was observed, before the provision of breadcrumbs as food in 5 portions of 0.5 g every 3 min. The concentration of Cd in the backbone of *G. punctata* was quantified. Statistically significant differences were observed in the SDCF between individuals of *G. punctata*, where the shortest time was 4.7 ± 0.06 s, while the longest corresponded with 5.6 ± 0.04 s. There were no statistically significant differences in the accumulated concentration of Cd in the backbone of *G. punctata* where the average bioaccumulated concentration was: $0.126 \pm 0.006 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$. The SDCF time was accepted before the sustained swim. The concentrations of Cd ($0.0126 \pm 0.006 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) in the vertebral spine show that they can exist in individuals of the species, since they coincided with the results described. It is concluded that the swimming behavior was accepted, but the bioaccumulation of Cd in the vertebral column could compromise the survival of *G. punctata*.

Keywords: aquatic ecosystem – bone tissue – cadmium – *Gambusia punctata* – swimming behavior

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 Helminthología 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:10.24039/rmh20221611388

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la velocidad de desplazamiento-captura del alimento (VDCA) y la bioacumulación al cadmio en la espina vertebral de *Gambusia punctata* (Poey, 1854). El estudio se realizó en el río San Juan de Santiago de Cuba, Cuba. Después del muestreo con cinco ejemplares adultos, se colocaron cada uno en acuarios de cristal (20 x 20 x 30 cm) con densidad de 1 g/L, sin flujo continuo de agua, ni oxigenación y temperatura ambiente $\approx 29^{\circ}\text{C}$. Durante 48 h, se observó el patrón de nado, ante el suministro de migajas de pan como alimento en 5 raciones de 0,5 g cada 3 min. Se cuantificó la concentración de Cd en la espina dorsal de *G. punctata*. Se observó, diferencias estadísticamente significativas en la VDCA entre los individuos de *G. punctata*, donde el menor tiempo fue de $4,7\pm 0,06$ s, mientras que el mayor correspondió a $5,6\pm 0,04$ s. No hubo diferencias estadísticamente significativas en la concentración acumulada de Cd en la espina dorsal de la *G. punctata* donde la concentración promedio bioacumulada fue: $0,126\pm 0,006 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. El tiempo de VDCA fue aceptado ante el nado sostenido. Las concentraciones de Cd ($0,0126\pm 0,006 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) en la espina vertebral, muestran que pueden existir en la especie, pues coincidió con resultados descritos. Se concluye, que la conducta natatoria fue aceptada, pero la bioacumulación al Cd en la espina vertebral podría comprometer la supervivencia de la *G. punctata*.

Palabras clave: cadmio – conducta natatoria – ecosistema acuático – *Gambusia punctata* – tejido óseo

INTRODUCCIÓN

El cadmio (Cd), es un metal tóxico que no posee función biológica conocida (Chen *et al.*, 2016), y puede ser tóxico a dosis bajas. Al acumularse el Cd, entonces muestra una exposición prolongada y en los últimos años se le reconoce como un posible factor etiológico de enfermedades neurodegenerativas (Chin *et al.*, 2015; Monaco *et al.*, 2017).

Al igual que otros metales, el Cd afecta la dinámica de los ecosistemas acuáticos (Jacob *et al.*, 2018), desde la biogeoquímica de los nutrientes hasta el comportamiento de los organismos (Choudri *et al.*, 2017; Hayes *et al.*, 2018), donde el uso de los peces como herramienta ambiental se reconoce para evaluar la contaminación y el riesgo ante la presencia de los metales (Argota *et al.*, 2012; Naddy *et al.*, 2015; Ezeonyejaku *et al.*, 2019). En los peces, el Cd altera la conducta (Eissa *et al.*, 2009; Ferro *et al.*, 2019), modifica la morfología branquial (Ferrari *et al.*, 2009), influye en el desbalance energético (Baudou *et al.*, 2017), la actividad enzimática antioxidante (Almeida *et al.*, 2009), y provoca la ocurrencia de micronúcleos (Ossana *et al.*, 2016).

El hueso, es el órgano principal que se afecta ante la presencia del Cd, ya que ocurre el desplazamiento del calcio divalente (Han *et al.*, 2019), (Han *et al.*,

2019), y una vez que se acumula, entonces provoca un esqueleto más pequeño y menor tasa de osificación (Sun *et al.*, 2018). Asimismo, el Cd inhibe el desarrollo de los otolitos y altera el control del equilibrio y la actividad de traslación donde la vejiga natatoria se afecta e influye en la flotabilidad y motilidad para nadar, además de la propia supervivencia de los peces (Capriello *et al.*, 2019).

Aunque, *Gambusia punctata* (Poey, 1854) habita en condiciones ambientales desfavorables como la contaminación (Argota *et al.*, 2020), es probable que la presencia de Cd en esta especie influya sobre la captura de las larvas de mosquitos y en este caso, disminuir el biocontrol lo cual, sería preocupante, pues es una especie con gran capacidad depredativa larvaria (Van-Dam & Walton, 2007; Fimia *et al.*, 2016; Dambach, 2020). Esta función de biocontrol higiénico-sanitaria reviste importancia social debido al riesgo que representa las larvas de mosquitos fundamentalmente *Aedes*, *Anopheles* y *Culex* (Kandel *et al.*, 2019; Suzuki *et al.*, 2020), para la salud humana (Kebede *et al.*, 2017; Kapesa *et al.*, 2018, Gachelin *et al.*, 2018). Por tanto, cualquier factor de bioacumulación al Cd, por consiguiente, se afecta el patrón de natación (Memtombi *et al.*, 2017).

El objetivo del estudio fue determinar la velocidad de desplazamiento-captura del alimento y la bioacumulación al cadmio en la espina vertebral de *G. punctata*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el río San Juan de Santiago de Cuba, Cuba. Este río, es el más importante de la ciudad y donde existen pozos que se utilizan para el abastecimiento de agua potable a la población. Se muestreó y depositaron en bolsas de nylon con la misma agua del río, cinco ejemplares adultos (dos machos y tres hembras) con talla de longitud total entre 2,1-3,1 cm. Luego se trasladaron a la zona de experimentación donde se colocó cada pez, en acuarios de cristal (20 x 20 x 30 cm) con densidad de 1 g·L⁻¹, sin flujo continuo de agua, ni oxigenación y temperatura ambiente ≈ 29°C.

Durante 48 h, se observó el patrón de nado de los peces, según la velocidad de desplazamiento hacia la captura del alimento en la superficie del agua (Floyd, 1999). La alimentación consistió en migajas de pan donde el suministro fue con cinco raciones de 0,5 g cada 3 min. Para la medición de la velocidad de desplazamiento-captura del alimento se utilizó, el cronómetro digital de marca Fisherband® (exactitud = 0,001%).

Se aplicó la eutanasia a los ejemplares mediante hipotermia inmediata, inhibiéndose la función biológica (Argota *et al.*, 2020). Posteriormente, los organismos se colocaron en estufa a 70°C durante 48 h para su secado total (Argota *et al.*, 2012). Con una pinza de sujeción lisa y bisturí con mango se raspó el tejido seco hasta obtener, la espina vertebral de cada individuo. Se pesó en una balanza analítica 0,5 g de cada muestra, colocándose en vasos de precipitados de 250 mL y se adicionó, 5 mL de una mezcla de ácidos HClO₄:H₂SO₄ (7:1) y 15 mL de HNO₃ concentrado donde la digestión se efectuó, en una plancha de calentamiento a 80°C, hasta la evaporación total de la mezcla de ácidos.

Se añadió, 5 mL de HNO₃ concentrado y se calentó, hasta la aparición de sales húmedas. Finalmente, se trasvasó a un frasco volumétrico de 25 mL con la ayuda de una disolución de ácido nítrico 0,7 M (Argota *et al.*, 2018). La cuantificación del Cd se realizó, mediante el espectrómetro de absorción atómica con plasma inductivamente acoplado de vista axial: Spectroflame-5B282.

Se utilizó el programa estadístico profesional Statgraphics Centurion 18 para el tratamiento de la bioacumulación al Cd. La comparación se realizó mediante el análisis de varianza y el contraste múltiple de rango fue por la prueba de Bonferroni. Se consideró, significativos los resultados cuando $p < 0,05$.

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 en revistas indexadas. Para el muestreo de los ejemplares, no se requirió el permiso de las autoridades regulatoria. La eutanasia de los peces fue mediante bolsas con hielo y que se depositaron en recipientes de cristal con agua tratada donde se procuró que los individuos se tranquilizaran durante la inmersión para la disección y luego, el análisis de la bioacumulación al Cd.

RESULTADOS

Se observó, diferencias estadísticamente significativas ($F = 147,17$; $p = 0,00$) en la velocidad de desplazamiento-captura del alimento entre los individuos de *G. punctata*, donde el menor tiempo fue de $4,7 \pm 0,06$ s, mientras que el mayor correspondió a $5,6 \pm 0,04$ s. El tiempo velocidad de

Tabla 1. Tiempo de velocidad de desplazamiento-captura del alimento (s) por los ejemplares de *Gambusia punctata*.

Individuos	Tiempo (s)	Prueba múltiple de rango (Bonferroni)
1	4,7±0,06	a
5	4,8±0,04	ab
4	4,9±0,06	b
3	5,1±0,05	c
2	5,6±0,04	d
Total	5,02±0,33	

desplazamiento-captura del alimento en tres de los individuos fue menor, al valor promedio: $5,02 \pm 0,33$ s (Tabla 1).

Se observa, que no hubo diferencias estadísticamente significativas ($F = 0,00$; $p = 1,00$) en la concentración acumulada de Cd en la espina

dorsal de la *G. punctata*. La concentración promedio bioacumulada fue: $0,126 \pm 0,006$ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Tabla 2).

Tabla 2. Concentración de Cd en la espina dorsal de la *Gambusia punctata* ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). DE = Desviación estándar.

Individuos	Promedio \pm DE
2	0,0125 \pm 0,004
5	0,0125 \pm 0,007
1	0,0126 \pm 0,006
4	0,0126 \pm 0,007
3	0,0126 \pm 0,008
Total	0,0126 \pm 0,006

DISCUSIÓN

Marín *et al.* (2014), refieren que los peces muestran alteraciones en el comportamiento del nado, cambios en movimientos de desplazamiento cuando existe exposiciones a xenobióticos, aunque en este estudio, se consideró que el tiempo de velocidad de desplazamiento-captura del alimento fue normal en los individuos de la *G. punctata*. Quizás, la diferencia en el tiempo de reacción pudo obedecer, algún cambio de respuesta sobre las condiciones de escenario ambiental. Videler & Wardle (1991) y Fulton (2010), señalan que la velocidad de nado son características esenciales en los animales acuáticos como los peces, pues les permite la supervivencia, reproducirse, escapar ante el peligro, definir los límites del hábitat y alimentarse. La capacidad de nado en los peces depende de diversos factores externos como la temperatura del agua (Green & Fisher 2004; Zeng *et al.*, 2009), agentes tóxicos ambientales (Hammer, 1995), presencia de parásitos (Mouritsen & Poulin, 2002) y características propias del pez, entre ellas, por ejemplo; la edad y morfología de las aletas (Fulton & Bellwood, 2002).

Ante la medición sobre el tiempo de velocidad de desplazamiento-captura del alimento, no se consideró, que existió alteraciones morfológicas y

fisiológicas en los ejemplares de *G. punctata*, pues su nado fue sostenido y según, Hill *et al.*, (2006), este consiste en mantener una velocidad constante donde no existe acidificación de los tejidos por cuanto, se produce catabolismo aeróbico y este permite una velocidad de nado por periodos prolongados (Beamish, 1978). Se consideró, el tiempo de desplazamiento-captura del alimento como una respuesta aceptada, pues la *G. punctata*, habita en condiciones desfavorables de contaminación (Argota *et al.*, 2016), y está dentro del género depredador de larvas de mosquitos lo cual, permite el control de este vector (Hernández *et al.*, 2005; Gachelin *et al.*, 2018; Dambach, 2020).

Faucher *et al.* (2008) y Low & Higgs (2015), mencionan que umbrales elevados a Cd en el medio acuático, influye en el aumento de la tasa de crecimiento, lo cual deteriora el comportamiento social, acumula en los bulbos olfatorios y daña la mácula sensorial. Diversas concentraciones de CdCl₂ en «zebrafish» (*Daniorerio*) se han experimentado donde en adultos machos se ha observado, aumento de apoptosis a una concentración de efecto más baja (por sus siglas en inglés: LOEC = 1,9 ppb) (Gonzalez *et al.*, 2006), aumento de células olfatorias muertas: LOEC = 110 ppb (Wang & Gallagher, 2013), cambios en la morfología y la ultraestructura de la retina, aumento de la sensibilidad a la luz: LOEC = 183

ppb (Avallone *et al.*, 2015). En el caso de las hembras, acumulación de Cd en ovarios y las larvas: LOEC = 1000 ppb (Wu *et al.*, (2012), óxido nítrico y malondialdehído en el cerebro y el hígado: LOEC = 1000 ppb (Zheng *et al.*, 2016), y en juveniles aumento de especies reactivas de oxígeno e inmunotoxicidad: LOEC = 970 ppb al Cd² (Zheng *et al.*, 2017).

En este estudio, las concentraciones de Cd ($0,0126 \pm 0,006 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) en la espina vertebral, muestran que pueden existir daños en la *G. punctata*, pues coincide con resultados antes descritos. Asimismo, Verma *et al.* (2019), indican que se encontró lesiones en el epitelio branquial, pérdida de células de la mucosa y la aparición de un mayor número de células en presencia de nanopartículas de sulfuro de Cd. Aunque, se describió que el tiempo de velocidad de desplazamiento-captura del alimento se consideró normal, las concentraciones halladas en la espina vertebral indican la necesidad de continuar con el monitoreo en esta especie debido a que Bielmyer *et al.* (2018), refieren que en ambiente de agua dulce la toxicidad al Cd es mayor y esta información pudiera perjudicar no solo a la especie, sino a la salud pública ante una posible proliferación del mosquito como agente vectorial.

La principal limitación del estudio fue, no realiza una prueba de histología fotográfica sobre la espina vertebral de los organismos seleccionados, así como comparar, el tiempo de velocidad de desplazamiento-captura del alimento con más de un ejemplar en los acuarios, pero que se mantengan en simultáneo cualquier suministro de alimentación viva tanto en la superficie como en el fondo de la columna de agua.

Se concluye, que la conducta natatoria fue aceptada, aunque la concentración bioacumulada al Cd en la espina vertebral, podría comprometer la supervivencia de la *G. punctata*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, JA, Bareto, RE, Novelli, ELB, Castro, FJ & Moron, SE. 2009. *Oxidative stress biomarkers and aggressive behavior in fish exposed to aquatic cadmium contamination*. Neotropical Ichthyology, vol. 7, pp. 103-108.
- Argota, PG, Argota, CH & Iannacone, J. 2016. *Costo ambiental sostenible relativo a la variabilidad fisicoquímica de las aguas sobre la disponibilidad de metales en el ecosistema San Juan, Santiago de Cuba-Cuba*. The Biologist (Lima), vol. 14, pp. 219-232.
- 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, González, PY, Argota, CH, Fimia, DR & Iannacone, OJ. 2012. *Desarrollo y bioacumulación de metales pesados en Gambusia punctata (Poeciliidae) ante los efectos de la contaminación acuática*. Revista Electrónica Veterinaria, vol. 13, pp. 1-12.
- Argota, PG, Iannacone, J & Fimia, DR. 2018. *Optimización ácida para la bioextracción ecotoxicológica de metales en órganos diana*. The Biologist (Lima), vol. 15, pp. 133-137.
- Avallone, B, Agnisola, C, Cerciello, R, Panzuto, R, Simoniello, P, Creti, P & Motta, CM. 2015. *Structural and functional changes in the zebrafish (Danio rerio) skeletal muscle after cadmium exposure*. Cell Biology and Toxicology, vol. 31, pp. 273-283.
- Baudou, FG, Ossana, NA, Castané, PM, Mastrángelo, MM & Ferrari, L. 2017. *Cadmium effects on some energy metabolism variables in Cnesterodon decemmaculatus adults*. Ecotoxicology, vol. 26, pp. 1250-1258.
- Beamish, FWH. 1978. *Swimming capacity*. In: Hoar WS & JD Randall (eds). Fish physiology, pp. 101-187. Academic Press, New York.
- Bielmyer, F, Gretchen, K, Harper, B, Picariello, C & Albritton, FA. 2018. *The influence of salinity and water chemistry on acute toxicity of cadmium to two euryhaline fish species*. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, vol. 214, pp. 23-27.

- Capriello, T, Grimaldi, MC, Cofone, R, D'Aniello, S & Ferrandino, I. 2019. *Effects of aluminium and cadmium on hatching and swimming ability in developing zebrafish*. *Chemosphere*, vol. 222, pp. 243-249.
- Chen, P, Miah, MR & Aschner, M. 2016. *Metals and neurodegeneration*. *F1000Research*, vol. 5, 366.
- Chin, CM, Navarro, YJ & Quintanilla, VB. 2015. *Environmental pollutants as risk factors for neurodegenerative disorders: Alzheimer and Parkinson diseases*. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, vol. 9, 124.
- Choudri, BS, Charabi, Y, Baawain, M & Ahmed, M. 2017. *Effects of pollution on freshwater organisms*. *Water Environment Research*, vol. 89, pp. 1676-1703.
- Dambach, P. 2020. *The use of aquatic predators for larval control of mosquito disease vectors: Opportunities and limitations*. *Biological Control*, vol. 150, 104357.
- Eissa, BL, Ossana, NA, Salibian, A, Ferrari, L & Pérez, RH. 2009. *Cambios en la velocidad de nado como indicador del efecto toxico del cadmio en Astyanax fasciatus y Australoheros facetum*. *Biología Acuática*, vol. 26, pp. 83-90.
- Ezeonyejiaku, CD, Okoye, CO & Ezenwelu, CO. 2019. *Toxicity and bioaccumulation studies of heavy metals on a freshwater fish*. *International Journal of Oceanography*, vol. 3, pp. 1-8.
- Faucher, K, Fichet, D, Miramand, P & Lagardère, JP. 2008. *Impact of chronic cadmium exposure at environmental dose on escape behaviour in sea bass (Dicentrarchus labrax L.; Teleostei, Moronidae)*. *Environmental Pollution*, vol. 151, pp. 148-157.
- Ferrari, L, Eissa, BL, Ossana, NA & Salibian, A. 2009. *Effects of sublethal waterborne cadmium on gills in three teleostean species: scanning electron microscope study*. *International Journal of Environmental Health Research*, vol. 3, pp. 410-426.
- Ferro, JP, Campos, LB, Ossana, N, Ferrari, L & Eissa, BL. 2019. *Effects of cadmium on the behaviour of Cnesterodon decemmaculatus*. *International Journal of Environment and Health*, vol. 4, pp. 372-379.
- 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.
- Floyd, R. 1999. *Clinical examination of fish in private collections*. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, vol. 2, pp. 247-264.
- Fulton, C & Bellwood, D. 2002. *Ontogenetic habitat use in labrid fishes: an ecomorphological perspective*. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 236, pp. 236-262.
- Fulton, C. 2010. *The role of swimming in reef fish ecology*. In: *Domenici P & B Kapoor (eds). Fish swimming: an ethoecological perspective*, pp. 374-406. Science Publishers, Enfield.
- Gachelin, G, Garner, P, Ferroni, E, Verhave, JP & Opinel, A. 2018. *Evidence and strategies for malaria prevention and control: a historical analysis*. *Malaria Journal*, vol. 17, pp. 1-18.
- Gonzalez, P, Baudrimont, M, Boudou, A & Bourdineaud, JP. 2006. *Comparative effects of direct cadmium contamination on gene expression in gills, liver, skeletal muscles and brain of the zebrafish (Danio rerio)*. *Biometals*, vol. 19, pp. 225-235.
- Green, B & Fisher, R. 2004. *Temperature influences swimming speed, growth and larval duration in coral reef fish larvae*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 299, pp. 115-132.
- Hammer, C. 1995. *Fatigue and exercise test with fish*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, vol. 112, pp. 1-20.
- Han, J, Kechun, L, Wang, R, Zhang, Y & Zhou, B. 2019. *Exposure to cadmium causes inhibition of otolith development and behavioral impairment in zebrafish larvae*. *Aquatic Toxicology*, vol. 214, pp. 1-31.
- Hayes, F, Spurgeon, DJ, Lofts, S & Jones, L. 2018. *Evidence-based logic chains demonstrate multiple impacts of trace metals on ecosystem services*. *Journal of Environmental Management*, vol. 223, pp. 150-164.

- Hernández, CN, Fimia, DR, Rojas, UJE & García, ÁGI. 2005. *Metodología para valorar el potencial y la capacidad depredadora de los peces larvivoros mediante observaciones directas en el laboratorio*. Revista Cubana de Medicina Tropical, vol. 57, pp. 156-158.
- Hill, G, Wyse, A & Richard, W. 2006. *Fisiología animal*, pp. 1038. Editorial Médica Panamericana, Madrid.
- Jacob, JM, Karthik, C, Saratale, RG, Kumar, SS, Prabakar, D, Kadirvelu, K & Pugazhendhi, A. 2018. *Biological approaches to tackle heavy metal pollution: a survey of literature*. Journal of Environmental Management, vol. 217, pp. 56-70.
- Kandel, Y, Vulcan, J, Rodriguez, SD, Moore, E, Chung, HN, Mitra, S, Cordova, JJ, Martinez, KJL, Moon, AS, Kulkarni, A, Ettestad, 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 cross-sectional Study*. Journal of Tropical Diseases, vol. 5, pp. 1-10.
- Low, J & Higgs, DM. 2015. *Sublethal effects of cadmium on auditory structure and function in fathead minnows (Pimephales promelas)*. Fish Physiology and Biochemistry, vol. 41, pp. 357-369.
- Marín, MGA, Chacón, NRA, Céspedes, RAE & Rondón, BIS. 2014. *Efectos toxicológicos generados por la exposición a triclorfón en un modelo inducido experimentalmente en cachama blanca (Piaractus brachypomus)*. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, vol. 9, pp. 190-202.
- Memtombi, CC, Gupta, S & Gupta, A. 2017. *Acute toxicity of cadmium in Anisops sardeus (Heteroptera: Notonectidae): Effects on adult and nymphal survival and swimming behavior*. Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 145, pp. 169-175.
- Monaco, A, Capriello, T, Grimaldi, MC, Schiano, V & Ferrandino, I. 2017. *Neurodegeneration in zebrafish embryos and adults after cadmium exposure*. European Journal of Histochemistry, vol. 61, pp. 28-33.
- Mouritsen, KN & Poulin, R. 2002. *Parasitism, community structure and biodiversity in intertidal ecosystems*. Parasitology, vol. 124, pp. 101-117.
- 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.
- Ossana, NA, Eissa, BL, Baudou, FG, Castané, PM, Soloneski, S & Ferrari, L. 2016. *Multibiomarker response in ten spotted live-bearer fish Cnesterodon decemmaculatus (Jenyns, 1842) exposed to Reconquista river water*. Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 133, pp. 73-81.
- Suzuki, Y, Baidaliuk, A, Miesen, P, Frangeul, L, Crist, AB, Merklings, SH, Fontaine, MA, Lequime, S, Moltini, CI, Hervé, BP, van Rij, LL & Saleh, MC. 2020. *Non-retroviral endogenous viral element limits cognate virus replication in Aedes aegypti ovaries*. Current Biology, vol. 30, pp. 1-19.
- 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.
- Verma, Y, Vandna, R, Singh, R & Suresh, V. 2019. *Assessment of cadmium sulphide nanoparticles toxicity in the gills of a freshwater fish*. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, vol. 13, pp. 1-23.
- Videler, J & Wardle, C. 1991. *Fish swimming stride by stride: speed limits and endurance*. Reviews in Fish Biology and Fisheries, vol. 1, pp. 23-40.
- Wang, L & Gallagher, EP. 2013. *Role of Nrf2*

- antioxidant defense in mitigating cadmium induced oxidative stress in the olfactory system of zebrafish*. Toxicology and Applied Pharmacology, vol. 266, pp. 177-186.
- Wu, SM, Tsai, PR & Yan, CJ. 2012. *Maternal cadmium exposure induces mt2 and smtB mRNA expression in zebrafish (Danio rerio) females and their offspring*. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C, vol. 156, pp. 1-6.
- Zeng, L, Cao Z, Fu, S, Peng, J & Wang, Y. 2009. *Effect of temperature on swimming performance in juvenile southern catfish (Silurus meridionalis)*. Comparative Biochemistry and Physiology, vol. 153, pp. 125-130.
- Zheng, JL, Yuan, SS, Wu, CW & Lv, ZM. 2016. *Acute exposure to waterborne cadmium induced oxidative stress and immunotoxicity in the brain, ovary and liver of zebrafish (Danio rerio)*. Aquatic Toxicology, vol. 180, pp. 36-44.
- Zheng, JL, Yuan, SS, Wu, CW, Lv, ZM & Zhu, AY. 2017. *Circadian time-dependent antioxidant and inflammatory responses to acute cadmium exposure in the brain of zebrafish*. Aquatic Toxicology, vol. 182, pp. 113-119.

Received March 26, 2022.
Accepted May 18, 2022.