



The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

NEURO-MEMORY RESPONSE TO PHYSICO-CHEMICAL CONDITIONS OF WATER QUALITY IN THE BIOMONITOR *GAMBUSIA PUNCTATA*, POEY 1854

NEURO-RESPUESTA DE MEMORIA ANTE CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE CALIDAD DEL AGUA EN EL BIOMONITOR *GAMBUSIA PUNCTATA*, POEY 1854

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

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. Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV). Lima, Perú,

³ Laboratorio de Parasitología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Ricardo Palma (URP). Lima, Perú. joseiannacone@gmail.com

⁴ Facultad de Tecnología de la Salud y Enfermería. Universidad Ciencias Médicas de Villa Clara. Villa Clara, Cuba. Rigoberto.fimia66@gmail.com

*Corresponding author: george.argota@gmail.com

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>

ABSTRACT

The aim of the study to evaluate the memory neuro-response to physical-chemical conditions of water quality in the biomonitor *Gambusia punctata*, Poey 1854. The study was carried out between February and April 2021 in the environmental zone of approach that corresponds to the lower part of the Almendares river, Havana, Cuba. The physicochemical parameters (PFQ) were measured *in situ*: dissolved oxygen, pH, total dissolved solids and electrical conductivity. An experiment was carried out that consisted of introducing a rod every two hours during a range of eight hours where a simulated larva of *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) was transported from its interior, and then the neuro-memory of time was recorded for the reaction towards its probable consumption. The brains of the males were measured against the quality of the water. The PFQs did not meet the recommended values. The reaction time towards the orientation of the stimulus decreased as the hours passed and there were no statistically significant differences, indicating immediate neuro-memory. There were also no significant differences in brain growth. It is concluded that as time passes there is a reaction to a recognized stimulus during the life cycle and, probably, the delay is due to environmental conditions. However, when the stimulus is presented, the reaction time is immediate; therefore, there is neuroimaging towards information learned and related to food, such as the larvae of *A. aegypti*.

Keywords: bioassay – fish – learning – physicochemical parameters – water quality

doi:10.24039/rtb20211921175

RESUMEN

El objetivo del estudio evaluar la neuro-respuesta de memoria ante condiciones fisico-químicas de calidad del agua en el biomonitor *Gambusia punctata*, Poey 1854. El estudio se realizó, entre febrero y abril de 2021 en la zona ambiental de aproximación y que corresponde, a la parte baja del río Almendares, La Habana, Cuba. Se midió *in-situ*, los parámetros fisico-químicos (PFQ): oxígeno disuelto, pH, sólidos totales disueltos y la, conductividad eléctrica. Se realizó, un experimento que consistió en introducir una varilla cada 2 horas durante un rango de 8 horas donde se transportó desde su interior, una larva simulada de *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762), y luego se registró, la neuro-memoria del tiempo de reacción hacia su probable consumo. Se midió el cerebro de los machos ante la calidad del agua. Los PFQ, no cumplieron con los valores recomendados. El tiempo de reacción hacia la orientación del estímulo disminuyó al transcurrir las horas y no hubo diferencias estadísticamente significativas, indicándose neuro-memoria de forma inmediata. Tampoco existió, diferencias significativas en el crecimiento cerebral. Se concluye, que al transcurrir el tiempo existe reacción ante un estímulo reconocido durante el ciclo de vida y probablemente, la demora se debe a las condiciones del medio, pero al presentarse el estímulo, el tiempo de reacción es inmediato, por tanto, existe neuroimagen hacia una información aprendida y que se relaciona con el alimento como es la larva de *A. aegypti*.

Palabras clave: aprendizaje – bioensayo – calidad de agua – parámetros fisico-químicos – peces

INTRODUCCIÓN

El cerebro es un órgano complejo de conectividad neuronal (Bastos & Schoffelen, 2016; González & Bandettini, 2018), rico en minerales de calcio, fósforo, sodio y magnesio, además, de vitaminas (Sujatha *et al.*, 2020), donde cualquier afectación que ocurra desde interacciones con el medio exterior se puede describir, mediante biomarcadores de estrés oxidativo (Moniruzzaman *et al.*, 2020), y luego valorarse la neuroimagen que se crea (Sugata *et al.*, 2020).

Cuando el equilibrio en la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos se afecta, taxones superiores como los peces permiten su análisis (Nagelkerken & Connell, 2015; Elleuch *et al.*, 2018; López *et al.*, 2020), y es probable que, el cerebro muestre algún tipo de bioseñal inmediata. En la especie *Gambusia punctata* Poey, 1854, el cerebro es uno de los órganos diana para la predicción del riesgo ambiental (Argota *et al.*, 2018; Espinosa *et al.*, 2019; Argota *et al.*, 2020), y ante las informaciones interconectadas neuronales que todo organismo pueda realizar, la actividad cerebral que se produce indica predicción de la memoria o el aprendizaje (Kajiura *et al.*, 2021).

El objetivo del estudio evaluar la neuro-respuesta de memoria ante condiciones fisico-químicas de

calidad del agua en el biomonitor *G. punctata*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre febrero y abril de 2021 en la zona ambiental de aproximación y que corresponde a la parte baja del río Almendares, La Habana, Cuba. Se midió *in-situ* mediante el medidor portátil multiparamétrico HI-9828 HANNA®, los parámetros fisico-químicos (PFQ): oxígeno disuelto (precisión: $\pm 0,10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), pH (precisión: $\pm 0,02$), sólidos totales disueltos (precisión: $\pm 1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y la conductividad eléctrica (precisión: $\pm 1 \text{ uS}\cdot\text{cm}^{-1}$). Dado que, la Norma Cubana 1021: 2014 – Higiene comunal – Fuentes de abastecimiento de agua – Calidad y protección del agua (ICS: 13.060; 91.140.60), no considera el parámetro de la conductividad eléctrica y el límite permisible de la concentración de oxígeno disuelto es más tolerante a la contaminación, entonces los PFQ se compararon con el Decreto Supremo No. 004-2017-MINAM (Categoría 1: Población y Recreacional; Subcategoría A: aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable; A2: aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional y la categoría 4: Conservación del ambiente acuático; Subcategoría E1: lagos y lagunas). De la propia agua del río, se extrajo 20 L y se vertieron en dos peceras de cristal (25 x 25 x 50

cm) considerándose como único tratamiento con réplicas y sin control.

Mediante un jamo profesional rectangular de 60 x 50 x 45cm y luz de malla de 0,5cm se capturaron 13 individuos machos bien identificados por su gonopodio (Reznick, 1990; McPeck, 1992). Se depositaron seis ejemplares en cada pecera con un volumen de 5 L donde permanecieron sin recambio de agua ni suministro de alimentos durante 24 h. Luego, se realizó un experimento que consistió en introducir una varilla plástica perforada cada dos h durante un rango de ocho h donde se transportó a través, de su conducto central una larva de *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) simulada y posteriormente se registró, la neuro-memoria del tiempo de reacción hacia su probable consumo con el cronómetro digital certificado Hanhart Spectron 169624 (precisión de 0,01%).

Para la extracción y posterior medición del tamaño del cerebro con un pie de rey digital (Tacklife $\pm 0,02$ mm), los machos se colocaron en posición ventral donde la contención fue mediante una pinza de sujeción lisa. Mediante otra pinza de disección bidentada se descamó, la región cefálica hasta

visualizar el cerebro el cual se sacó con una segunda pinza de sujeción lisa hasta quedarse una conización en la región anatómica cerebral (Argota *et al.*, 2021).

Con el programa profesional Statgraphics Centurion v.18 se comparó mediante la prueba t-Student el tiempo de reacción entre los tratamientos. Los resultados se consideraron significativos cuando fue $p < 0,05$.

Aspectos éticos: El estudio consideró, la eutanasia de los peces en bolsas con hielo procurando que durante la inmersión de los ejemplares fueran tranquilizados para su disección (Argota *et al.*, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los parámetros físico-químicos de calidad del agua superaron el valor de la categoría 4 del Decreto Supremo No. 004-2017-MINAM (Tabla 1).

Tabla 1. Valor de parámetros físico-químicos / zona de exposición / río Almendares, La Habana, Cuba.

Parámetros	Unidad	Valor	Categoría 4
OD	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$4,2\pm 0,11$	$\geq 5,0$
pH	$-\log_{10} [\text{aH}^+]$	$6,3\pm 0,08$	6,5 – 9,0
CE	$\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$	$1,12\pm 0,54$	1000,0
STD	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$557,32\pm 19,28$	$\leq 25,0$

El tiempo de reacción hacia la orientación del estímulo fue disminuyendo con el transcurso de las horas, no se halló diferencias estadísticamente significativas ($F = 0,09$; $p = 0,96$) para esta variable

etológica, lo que indicó que la neuro-memoria para detectar el estímulo se reconoce de forma inmediata (Tabla 2).

Tabla 2. Neuro-memoria según el tiempo de reacción ante la exposición al estímulo / transcurso horario / *Gambusia punctata*.

T (h)	X (s)
2	$1,123 \pm 0,03$
4	$1,117 \pm 0,03$
6	$1,115 \pm 0,02$
8	$1,114 \pm 0,02$

Se muestra el crecimiento del cerebro y su resumen estadístico donde no se encontró, diferencia estadísticamente significativa (intervalo: -0,04; 0,002, $t = -2,44$, $p = 0,07$) en el rango de crecimiento cerebral (Tabla 3).

Tabla 3. Crecimiento del cerebro y resumen estadístico / machos / *Gambusia punctata*.

Zona ambiental de aproximación	
1,11 ± 0,01	
1,11 ± 0,01	
1,10 ± 0,01	
1,09 ± 0,01	
1,11 ± 0,01	
1,09 ± 0,01	
1,09 ± 0,01	
1,11 ± 0,01	
1,09 ± 0,01	
1,11 ± 0,01	
1,09 ± 0,01	
1,10 ± 0,01	
Estadígrafos	Valor
Número de individuos	12
Promedio	1,1
Desviación Estándar	0,009
Coefficiente de Variación (%)	0,87
Mínimo	1,09
Máximo	1,11

DISCUSIÓN

En los ecosistemas acuáticos cuando se producen variaciones de los parámetros físico-químicos, estos influyen en la sostenibilidad ambiental y tal problemática, determina el estado de conservación ecológica (Xie *et al.*, 2017; Levrel & Martinet, 2020). En este estudio, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos indicaron grado de contaminación en la zona ambiental de aproximación del río Almendares (La Habana), por cuanto sería necesario el uso de tecnologías adecuadas para proteger, la calidad ambiental de este sistema hídrico (Vendrell *et al.*, 2020; Wiederholt *et al.*, 2020).

Se observó, que al transcurrir el tiempo los machos reaccionan ante un estímulo que reconocen durante su ciclo de vida y probablemente, la demora en las primeras horas correspondió a las condiciones del medio donde existe adaptación en un tiempo relativamente corto y, cuando se muestra

nuevamente el estímulo, el tiempo de reacción es inmediato de modo que, en el cerebro de los machos de *G. punctata* existe neuroimagen hacia una información aprendida y que se relaciona con el alimento como la larva de *A. aegypti* (Juhász *et al.*, 2019; Janacsek *et al.*, 2020). Se menciona que, el eje del estrés neuroendocrino de las especies no mamíferas como los peces se conserva evolutivamente donde los péptidos hormonales como β -endorfina, encefalinas, dinorfina y endomorfina están implicadas en diversas funciones y entre estas se encuentra la modulación del dolor y el comportamiento social (Ganesh, 2021), reconociéndose en este estudio que ambas funciones se expresan bajo las condiciones de experimentación.

El ajuste del comportamiento basado en experiencias específicas está determinado entre otros factores por la capacidad de almacenar y recordar diversas informaciones (Keifer & Summers, 2016; Yartsev, 2017; Laurent, 2020). Durante un estudio sobre la actividad neuronal

dependiente del aprendizaje con el cerebro de la larva de zebrafish se observó, la capacidad de memoria con relación a su desarrollo (Lovett, 2021), y esta información puede señalar que en el transcurso sobre el crecimiento del cerebro se producen interacciones asociativas que se aprenden y memorizan.

La principal limitación del estudio fue no compararse la neuro-respuesta de los machos con las hembras, además, de evaluarse esta variable en otras condiciones de calidad ambiental donde se describa el tamaño del cerebro.

Se concluye, que si la variación de las condiciones físico-químicas de calidad de agua se mantienen, aunque el espacio del hábitad sea diferente, solo implica un retardo en el biomonitor *G. punctata* para reaccionar ante un estímulo externo; sin embargo, la neuro-respuesta es inmediata, pues el cerebro recuerda una la información aprendida como fue la alimentación larvaria de *A. aegypti*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argota, P.G.; Fimia, D.R.; Iannacone, J. & Alarcón-Elbal, P.M. 2020. Crecimiento ante la respuesta visual y regímenes prolongados de alimentación en el biorregulador larval de mosquitos *Gambusia punctata* Poey, 1854. Neotropical Helminthology, 14: 1-6.
- Argota, P.G.; Iannacone, J. & Fimia, D.R. 2021. ¿El crecimiento cerebral será una adaptación al criterio de tolerancia ambiental en la especie controladora larvaria *Gambusia punctata* Poey, 1854? Neotropical Helminthology, 15: 91-95.
- Argota, P.G.; Pérez, A.I.Y.; Iannacone, J.; Alvaríño, L. & Fimia, D.R. 2018. Comportamiento de refugio y actividad de la acetilcolinesterasa cerebral en *Gambusia punctata* (Poey, 1854) (Poeciliidae) por plomo biodisponible. The Biologist (Lima), 6: 171-179.
- Bastos, A.M. & Schoffelen, J.M. 2016. A tutorial review of functional connectivity analysis methods and their interpretational pitfalls. Frontiers in Systems Neuroscience, 9: 175.
- Elleuch, B.; Bouhamed, F.; Elloussaief, M. & Jaghbir, M. 2018. Environmental sustainability and pollution prevention. Environmental Science and Pollution Research, 25: 18223-18225.
- Espinosa, R.G.; Costilla, S.R.; Pérez, V.F.J.; González, D.J.; Flores, R.R.; Cuevas, D.S.M.C.; Medellín, G.C.E. & Ilizaliturri, H.A. 2019. DNA damage in earthworms by exposure of persistent organic pollutants in low basin of coatzacoalcos River, Mexico. Science of the Total Environment, 651: 1236-1242.
- Ganesh, C.B. 2021. The stress – reproductive axis in fish: The involvement of functional neuroanatomical systems in the brain. Journal of Chemical Neuroanatomy, 112: 101918.
- González, C.J. & Bandettini, P.A. 2018. Task-based dynamic functional connectivity: recent findings and open questions. Neuroimage, 180: 526-533.
- Janacek, K.; Shattuck, K.F.; Tagarelli, K.M.; Lum, J.A.G.; Turkeltaub, P.E. & Ullman, M.T. 2020. Sequence learning in the human brain: a functional neuroanatomical meta-analysis of serial reaction time studies. Neuroimage, 207: 1-41.
- Juhász, D.; Nemeth, D. & Janacek, K. 2019. Is there more room to improve? The lifespan trajectory of procedural learning and its relationship to the between- and within-group differences in average response times. PLOS ONE, 14: 1-20.
- Kajiura, M.; Jeong, H.; Kawata, N.Y.S.; Shaoyun, Y.; Kinoshita, Y.; Kawashima, R. & Sugiura, M. 2021. Brain activity predicts future learning success in intensive second language listening training. Brain and Language, 212: 1-12.
- Keifer, J. & Summers, C.H. 2016. Putting the 'Biology' back into 'Neurobiology': the strength of diversity in animal model systems for neuroscience research. Frontiers in Systems Neuroscience, 10: 69.
- Laurent, G. 2020. On the value of model diversity in neuroscience. Nature reviews Neuroscience, 21: 395-396.
- Levrel, H. & Martinet, V. 2020. Ecological economists: the good, the bad, and the ugly? Ecological Economics, 179: 1-4.
- López, P.M.; Varela, Z.; Franco, D.; Fernández, J.A. & Aboal, J.R. 2020. Can proteomics

- contribute to biomonitoring of aquatic pollution? A critical review. *Environmental Pollution*, 267: 1-12.
- Lovett, B.M. 2021. Learning-dependent neuronal activity across the larval zebrafish brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 67: 42-49.
- McPeck, M. 1992. Mechanisms of sexual selection operating on body size in the mosquitofish (*Gambusia holbrooki*). *Behavioral Ecology*, 3: 1-12.
- Moniruzzaman, M.; Mukherjee, M.; Das, D. & Chakraborty, S.B. 2020. Effectiveness of melatonin to restore fish brain activity in face of permethrin induced toxicity. *Environmental Pollution*, 266: 1-11.
- Nagelkerken, I. & Connell, S.D. 2015. Global alteration of ocean ecosystem functioning due to increasing human CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112: 13272-13277.
- Reznick, D. 1990. Plasticity in age and size at maturity in male guppies (*Poecilia reticulata*): an experimental evaluation of alternative models of development. *Journal of Evolutionary Biology*, 3: 185-203.
- Sugata, H.; Yagi, K.; Yazawa, S.; Nagase, Y.; Tsuruta, K.; Ikeda, T.; Nojima, I.; Hara, M.; Matsushita, K.; Kawakami, K. & Kawakami, K. 2020. Role of beta-band resting-state functional connectivity as a predictor of motor learning ability. *Neuroimage*, 210: 1-9.
- Sujatha, K.; Nallusamy, S.; Senthilkumar, P.; Francis, P.A. & Silambarasan, K. 2020. Study of mineral content available in the brain of ten fishes from two fish landing centres in Tamilnadu and Andhra Pradesh. *Materials Today: Proceedings*, 37: 810-816.
- Vendrell, P.L.; Abril, M.; Proia, L.; Espinosa, A.C.; Ricart, M.; Oatley, R.D.L.; Williams, P.M.; Zanai, M. & Llenas, L. 2020. Assessing the effects of metal mining effluents on freshwater ecosystems using biofilm as an ecological indicator: Comparison between nanofiltration and nanofiltration with electrocoagulation treatment technologies. *Ecological Indicators*, 113: 1-8.
- Wiederholt, R.; Stainback, G.A.; Paudel, R.; Khare, Y.; Naja, M.; Davis, S.E. & Van Lent, T. 2020. Economic valuation of the ecological response to hydrologic restoration in the Greater Everglades ecosystem. *Ecological Indicators*, 117: 1-11.
- Xie, G.; Zhang, C.; Zhen, L. & Zhang, L. 2017. Dynamic changes in the value of China's ecosystem services. *Ecosystem Services*, 26: 146-154.
- Yartsev, M.M. 2017. The emperor's new wardrobe: rebalancing diversity of animal models in neuroscience research. *Science*, 358: 466-469.

Received June 6, 2021.

Accepted July 31, 2021.