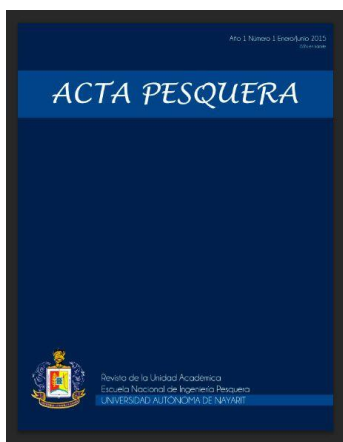




Revista ACTA PESQUERA.
Volumen 10 No. 19.
ISSN: 2395-8944
Periodo: Enero – Junio de 2024
San Blas, Nayarit. México
Pp. 61 - 69
Recibido: Abril 30 de 2024
Aprobado: Junio 29 de 2024
DOI: 10.60113/ap.v10i19.137

Cambios de la actividad de acetilcolinesterasa en camarón (*Litopenaeus vannamei*) expuestos a baja concentración de malatión y sulfato de cobre

Changes in acetylcholinesterase activity in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) exposed to low concentration of malathion and copper sulfate

Pérez-Medina, Luis Gerardo
Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera
17020244@uan.edu.mx

Hernández-Mendoza, Edgar Gabriel
Universidad Autónoma de Nayarit
em3536317@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9368-7662>

González-Hermoso, Juan Pablo
ENIP - UAN
juanpablo_gonzalez@uan.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9175-178X>

López-Sánchez, José Armando
ENIP - UAN
jals88@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1414-2427>

Bautista-Covarrubias, Juan Carlos
ENIP - UAN
juanb@uan.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-4790-9898>

Cambios de la actividad de acetilcolinesterasa en camarón (*Litopenaeus vannamei*) expuestos a baja concentración de malatión y sulfato de cobre

Changes in acetylcholinesterase activity in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) exposed to low concentration of malathion and copper sulfate

RESUMEN

En la cercanía de los sistemas de producción de camarón de Nayarit, México, existe variedad de cultivos agrícolas en los que se utiliza diferentes sustancias químicas, las cuales podrían incorporarse vía agua a los estanques de camarón. El objetivo del presente trabajo, fue evaluar en condiciones de laboratorio el cambio de actividad de AChE y proteína total en el músculo (MS) y hepatopáncreas (HPT) de camarón blanco, expuestos por 96 horas a baja concentración del malatión y de sulfato de cobre. La actividad de AChE en el MS presentó una tendencia a disminuir, mientras que en HPT la respuesta fue a incrementar la actividad enzimática, de igual manera la actividad de AChE en tejidos de camarones expuestos a sulfato de cobre fue la de incrementar. La concentración de proteína total incrementó en MS y en HPT por exposición a la mayor concentración de malatión, mientras que con sulfato de cobre, solo la proteína total en el MS presentó tendencia significativa a incrementar por el estrés ocasionado por las sustancias químicas ensayadas.

Palabras clave: Camarón, enzima, metal, plaguicida, proteína.

ABSTRACT

Near the shrimp production systems of Nayarit, Mexico, there is a variety of agricultural crops in which different chemical substances are used, which could be incorporated via water into the shrimp ponds. The aim of this study was to evaluate under laboratory conditions the change of AChE activity and total protein in the muscle (MS) and hepatopancreas (HPT) of white shrimp, exposed for 96 hours to low concentrations of malathion and copper sulfate. The AChE activity in MS showed a tendency to decrease, while in HPT there was a response to increase the enzymatic activity, likewise the

AChE activity in tissues of shrimp exposed to copper sulfate increased. Total protein concentration increased in MS and HPT due to exposure to the highest concentration of malathion, while with copper sulfate, only total protein in MS showed a significant tendency to increase due to the stress caused by the chemicals substances tested.

Keywords: Shrimp, enzyme, metal, pesticide, protein.

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola de Nayarit, se posiciona en el lugar 17 en la aportación nacional, los municipios de la zona norte de Nayarit son los más productivos respecto a la actividad agrícola, el municipio de Santiago Ixcuintla cuenta con una superficie sembrada de 58,196 hectáreas, le sigue

Tecuala con 39,116 hectáreas, Rosamorada con 34,765 hectáreas y San Blas con 31,989 hectáreas sembradas (SIAP, 2019). Para lograr las cosechas de la superficie sembrada, es necesario el uso de sustancias químicas orgánicas (insecticidas) entre otras sustancias inorgánicas a base de metales para proteger los cultivos de las plagas. González-Arias *et al.* (2010) señala que en Nayarit, los más comercializados son los insecticidas (45.9 %), los herbicidas (30.5 %) y los fungicidas mayormente componentes metálicos (20.1 %). El malatión ($C_{10}H_{19}O_6PS_2$) es un insecticida organofosforado, que se deriva del ácido fosfórico y presenta átomos de fósforo y azufre (EPA, 2006), ocasionan efectos sobre el sistema nervioso y específicamente la inhibición de la actividad de acetilcolinesterasa (AChE) se ve disminuida en invertebrados y vertebrados acuáticos (Tongbai *et al.*, 2012; Russom *et al.*, 2014). El sulfato de cobre ($CuSO_4$) es un producto comercial frecuentemente aplicado al agua de los estanques de camarón, para evitar la presencia de macro y micro algas, cianobacterias y de moluscos (Mytilidae) que provocan reducción de la concentración de oxígeno del agua (Bautista *et al.*, 2015; Gallardo-Rodríguez *et al.*, 2018).

En el estado de Nayarit se tiene registro de 309 unidades de producción camaronícola (SIAP, 2019), que se localizan cerca de zonas con elevada actividad agrícola (FIRA, 2009; Frías-

Espericueta *et al.*, 2011). Debido al constante uso de insecticidas organofosforados y fungicidas a base de cobre en los cultivos agrícolas del noroeste de Nayarit y en el agua de estanques de camarón, se realizaron experimentos para evaluar el posible efecto sobre la actividad de acetilcolinesterasa y la proteína total en músculo y en hepatopáncreas de juveniles de *L. vannamei* expuestos a cuatro concentraciones de malatión y a cuatro concentraciones de sulfato de cobre por 96 horas de exposición.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los 200 camarones juveniles fueron donados por la granja camaronera "Los Sauces" ubicada en el municipio de San Blas, Nayarit. Los cuales fueron transportados al laboratorio con aireación constante y a 25 unidades prácticas de salinidad (ups), posteriormente, fueron colocados en un recipiente de 400 litros de capacidad, los cuales se aclimataron gradualmente en tiempo hasta que se obtuvo agua a 10 ups. Después, 160 camarones (16/acuario) fueron colocados al azar en 10 acuarios de cristal con capacidad de 60 litros por acuario (60x40x33 cm) y fueron aclimatados por tres días más (pH 7.8, oxígeno fue 6.5 mg L⁻¹ y temperatura ambiente de 25 °C). Del malatión y del sulfato de cobre fueron aplicadas cuatro concentraciones que fueron las correspondientes al 1 %, 10 %, 20 % y 50 % de las CL50-96 h (0.078 mg L⁻¹ y 35.12 mg L⁻¹) en porcentaje reportadas por Bautista 1995 y Frías-Espericueta *et al.*, 2003, además fue utilizado un grupo de organismos control en cada sustancia química. El diseño experimental fue por duplicado y fue considerada una fuente de variación, no se realizó recambio de agua durante un tiempo de 96 horas de exposición.

Análisis de la actividad de AChE

Para medir la actividad de la acetilcolinesterasa se utilizó la metodología descrita por Ellman *et al.* (1961), adaptada a microplaca (Herbert *et al.*, 1995), la cual se basa en un método colorimétrico.

Preparación de las muestras

Los tejidos fueron diseccionados sobre cama de hielo y a temperatura ambiental de 19 °C, posteriormente fueron suspendidos por separado en una solución tampón de fosfatos 0.1

Molar a pH 7.2, en una proporción 1:5 (peso/volumen), fueron homogeneizados durante un minuto a 7000 rpm en homogeneizador Politrón (PT-1300D Kinematica Inc. USA). Las muestras de músculo fueron tomadas de la parte dorsal del primer segmento abdominal del camarón y el hepatopáncreas fue extraído completo. Las suspensiones se mantuvieron a 4 °C durante todo el proceso para evitar la desactivación de la enzima. Las suspensiones resultantes del homogeneizado se centrifugaron a 8500 rpm durante 30 minutos en una centrifuga refrigerada (HERMLE, Z383K MK2 GERMANY), a 4 °C. Una vez centrifugado fue separado el sobrenadante y fue realizado el análisis.

Preparación de la solución de reacción

Solución 1. En la preparación de acetiltiocolina como sustrato a 0.075 Molar, se pesaron 10.8 mg y se disolvieron en 0.5 mL de agua bidestilada.

Solución 2. Para la preparación del DTNB (ácido 5,5-ditio-bis-2-nitrobenzoico) a 10 milimolar, fueron pesados 9.9 mg, además 3.75 mg de hidrógeno carbonato de sodio (NaHCO₃ SIGMA). Ambos fueron diluidos en 2.5 mL de tampón fosfato. Para la preparación de la solución de reacción, fueron utilizados 30 mL de tampón fosfato, y además fue añadido 0.2 mL de la solución (1) y 1 mL de la solución (2).

La placa utilizada para el análisis fue de 96 pozos, 50 µL del sobrenadante fueron colocados y después fueron añadidos 250 µL de la solución de reacción. Una vez aplicada la solución de reacción, se realizó a los 10 minutos la primera lectura de las muestras, posteriormente, a los 5 minutos fue realizada una segunda lectura. Las lecturas de absorbancia fueron hechas a 405 nanómetros en lector de microplacas Awareness (Stat Fax® 2100). La actividad de AChE, se expresa en nmol min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

Cuantificación de la proteína total

La proteína total fue determinada en músculo y en hepatopáncreas por el método de Bradford (1976), adaptado a microplaca por Herbert *et al.* (1995). La solución de reacción (Bio-Rad) fue preparada en una proporción 1:4, con agua bidestilada, además albúmina de suero de bovino (BSA-SIGMA) fue utilizada como

estándar para realizar la curva de calibración de acuerdo con las instrucciones del kit Bio-Rad. La concentración de proteína fue determinada en 10 μL de cada tejido por triplicado, a los cuales les fue agregado 200 μL de solución de reacción. Las lecturas de absorbancia fueron realizadas a 630 nm en lector de microplacas Awareness (Stat Fax® 2100).

RESULTADOS

De acuerdo con estudios toxicológicos que señalan que el tamaño y el peso de los organismos puede influir en la respuesta ante una sustancia tóxica, fue realizado un análisis de varianza (ANOVA una vía) a los valores de talla (cm) y del peso (g) de los organismos utilizados en los dos experimentos. Los valores de talla (12.35 ± 0.40 cm) y peso (10.03 ± 1.17 g) de los organismos experimentales expuestos a malatión, no mostraron diferencias significativas ($P > 0.120$) y ($P > 0.200$). Mientras, que los valores de talla (12.27 ± 0.76 cm) y peso (9.88 ± 1.79 g) de organismos utilizados en el experimento con sulfato de cobre, de igual manera no fueron detectadas diferencias significativas ($P > 0.074$) y ($P > 0.130$), respectivamente. Por lo tanto, se corrobora que el peso y la talla de los organismos utilizados, no pudo ser indicativo de variabilidad en la respuesta de los organismos a la exposición a cuatro concentraciones de malatión y del sulfato de cobre.

Actividad de AChE expuestos a malatión

Los valores promedios de actividad de acetilcolinesterasa fueron mayores en los organismos no expuestos (Control), mientras que en los diferentes tratamientos de malatión, los valores promedios de actividad de AChE fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$) a los valores promedios de organismos del grupo control (Figura 1). El mayor porcentaje de inhibición de la AChE fue 68.5 % y se presentó en el análisis de músculo de camarones a 96 h de exposición a 0.039 mg L^{-1} del malatión. Contrariamente, en el análisis de actividad de AChE en hepatopáncreas, la tendencia de AChE fue la de incrementar con las diferentes concentraciones del malatión y solo la actividad promedio de AChE de camarones analizados en la concentración de $0.00078 \text{ mg L}^{-1}$ presentó

diferencias significativas ($P < 0.05$) a los valores promedios de actividad de AChE en hepatopáncreas de organismos del grupo control y de organismos expuestos a 0.039 mg L^{-1} de malatión. Mientras que el mayor porcentaje de inhibición de AChE en hepatopáncreas fue 58.6 % y sucedió en camarones que fueron expuestos a $0.00078 \text{ mg L}^{-1}$ con respecto al valor promedio de camarones expuestos a la mayor concentración de malatión (0.039 mg L^{-1}).

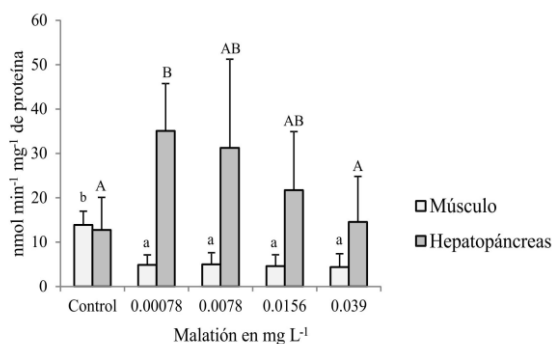


Figura 1. Actividad de acetilcolinesterasa en dos tejidos de camarón expuestos a malatión.

ANOVA de una vía para cada tejido.

Comparación de promedios prueba Holm-Sidak ($P < 0.05$).

Actividad de AChE expuestos a sulfato de cobre

Respecto a la actividad de AChE determinada en el músculo de camarones expuestos a sulfato de cobre, se determinó una tendencia a disminuir a partir de la actividad presente en el músculo de camarones del grupo control, pero sin representar diferencia significativa ($P > 0.05$), solo diferencias significativas fueron determinadas entre los valores promedios de AChE de camarones expuestos a la máxima concentración (17.56 mg L^{-1}), con respecto a los valores promedios de músculo de camarones expuesto a 7.02 mg L^{-1} de sulfato de cobre (Figura 2). El porcentaje de inhibición mayor fue de 52.3 % y fue calculado considerando la actividad de camarones del grupo control como el 100 % y, mencionado porcentaje de inhibición fue en el músculo de camarones expuestos a 7.02 mg L^{-1} de sulfato de cobre.

Respecto a la actividad de AChE determinada en hepatopáncreas de camarones expuestos a sulfato de cobre, la tendencia fue similar a la presentada en el mismo tejido de camarones que fueron expuestos a malatión, la cual fue la de incrementar la actividad de la enzima en camarones expuestos a 0.35 mg L⁻¹ de sulfato de cobre, con diferencias significativas ($P<0.05$) con respecto a los valores promedios de actividad de AChE en hepatopáncreas de camarones del grupo control y con camarones expuestos a la mayor concentración experimental de sulfato de cobre (17.56 mg L⁻¹). El porcentaje de inhibición de la actividad de AChE en hepatopáncreas fue de 57.8 %, entre los camarones expuestos a 0.35 mg L⁻¹, con respecto a los camarones expuestos a 17.56 mg L⁻¹ de sulfato de cobre.

Concentración de proteína de camarón expuesto a sustancias químicas

El valor promedio más bajo de proteína total fue registrado en el músculo de camarones expuestos a la menor concentración de malatión (0.00078 mg L⁻¹) y presentó solo diferencias significativas ($P<0.05$), con respecto a los valores promedio de proteína de camarones expuestos a la mayor concentración (0.39 mg L⁻¹) de malatión (Tabla 1).

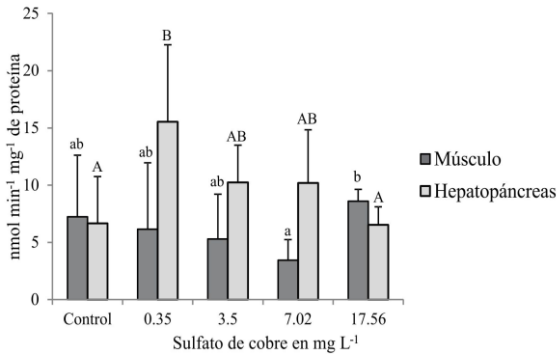


Figura 2. Actividad de acetilcolinesterasa en dos tejidos de camarón expuestos a sulfato de cobre. ANOVA de una vía para cada tejido. Comparación de promedios prueba Holm-Sidak ($P<0.05$).

Mientras que los dos menores valores promedio de proteínas fueron en el hepatopáncreas de camarones del grupo control (3.18 ± 0.71 mg mL⁻¹

¹) y en los camarones expuestos a 0.0156 mg L⁻¹ (3.36 ± 1.30 mg mL⁻¹) de malatión, valores de proteína que fueron significativamente diferentes ($P<0.05$) a los valores de proteína de camarones expuestos a la mayor concentración del malatión.

Respecto a los camarones expuesto al sulfato de cobre, la tendencia determinada fue la de incrementar la concentración de proteína total en el músculo de camarón con relación al valor promedio de proteína de camarones del grupo control (5.74 ± 3.13 mg mL⁻¹). Diferencias significativas ($P<0.05$) fueron encontradas entre los valores promedios de proteína total en el músculo de camarones del grupo control, con respecto a los valores promedios de proteína de camarones expuestos a tres concentraciones del sulfato de cobre (0.35 mg mL⁻¹, 3.5 mg mL⁻¹ y con 7.0 mg mL⁻¹).

Referente a la concentración de proteína total determinada en el hepatopáncreas de camarones no expuestos y expuestos a sulfato de cobre, no fueron determinadas diferencias significativas mediante la prueba de ANOVA una vía ($P=0.429$), por lo que la presencia de las diferentes concentraciones aplicadas de sulfato de cobre no fue evidente un efecto sobre la concentración de proteína total presente en el tejido analizado.

Tabla 1. Valores promedio ($\pm$ D.E.) de proteína total (en mg mL⁻¹) en dos tejidos de camarón expuestos a dos sustancias químicas.

Tejido	Malatión mg L ⁻¹				
	0	0.00078	0.0078	0.0156	0.39
Músculo	7.14±2.38ab	4.56±2.43a	8.04±3.32ab	5.32±3.59ab	9.49±2.68b
Hepatopáncreas	3.18±0.71a	6.37±3.39ab	7.83±4.72ab	3.36±1.30a	9.61±4.05b

Tejido	Sulfato de cobre mg L ⁻¹				
	0	0.35	3.5	7.02	17.56
Músculo	5.74±3.13a	9.66±2.48b	9.15±2.03b	9.49±1.60b	7.92±1.90ab
Hepatopáncreas	6.06±3.21a	7.34±3.76a	8.07±2.26a	8.59±4.77a	7.82±1.81a

DISCUSIÓN

La acetilcolinesterasa (AChE) es una enzima que hidroliza a la acetilcolina (ACh) en colina y acetato en la sinapsis nerviosa. La ACh es el neurotransmisor localizado en el sistema nervioso central y del sistema nervioso autónomo, en las terminales de las fibras posganglionares de las uniones neuromusculares (López-Durán *et al.*, 2018). El principal efecto ocasionado por plaguicidas organofosforados y carbamatos es la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa, lo cual, al no llevar a cabo la hidrólisis del neurotransmisor ACh, se acumula en las membranas post sinápticas y afecta el sistema nervioso (García-de la Parra, *et al.*, 2006). La cuantificación de la AChE como biomarcador en el monitoreo de sustancias químicas, ha sido ampliamente utilizada como indicador de la presencia de plaguicidas organofosforados y carbamatos (Lavarías y García, 2015; Sabu y Gopal, 2016; Pham *et al.*, 2017; Duarte-Restrepo *et al.*, 2020). En el presente trabajo, fue observada una inhibición mayor al 50 % en los dos tejidos analizados y en presencia de malatión y sulfato de cobre, la tendencia de inhibición dosis-respuesta fue mayormente identificada en el músculo de camarones expuestos a malatión, además fue registrado el mayor porcentaje de inhibición (68.5 %). Eamkamon *et al.* (2012), en su estudio de exposición a concentraciones subletales del plaguicida clorpirifos (organofosforado), determinaron también la inhibición de la actividad de la AChE de los camarones *Penaeus monodon* expuestos con respecto a camarones no expuestos (grupo control). Mientras el presente estudio, en el hepatopáncreas de camarones expuestos a malatión y a sulfato de cobre fue determinada una inducción de la actividad enzimática. Anteriormente, se describía que sólo los plaguicidas organofosforados y los carbamatos interferían con la hidrólisis del neurotransmisor (acetilcolina), lo cual se acumula en las membranas postsinápticas y afecta el sistema nervioso debido a la inhibición de la actividad de la AChE (García-de la Parra, *et al.*, 2006).

Otros estudios realizados con el anfípodo *Echinogammarus meridionalis* y con el camarón *Atyaephyra desmarestii*, expuestos a cobre

(aproximadamente 351 veces menor y a 48 h de exposición), no fue detectada inhibición de la actividad de AChE (Quintaneiro *et al.*, 2014). Lo cual coincide con el presente trabajo, ya que con *Litopenaeus vannamei* no fue determinada una tendencia clara de inhibición de la actividad de AChE en 96 h de exposición. Se ha publicado diversos trabajos de investigación que se ha utilizado cobre y no ha sido evidente el efecto de inhibición de la actividad de AChE en las siguientes especies acuáticas; copépodos (*Tigriopus brevicornis*), peces (*Sparus aurata*), músculo del peces *Scomber scombrus* (Forget *et al.*, 1999; Varo *et al.*, 2007; Vieira y Nunes, 2021). Sin embargo, el trabajo publicado por Frasco *et al.* (2005), “inhibición de AChE *in Vitro*”, refiere que es necesario evitar el uso de búfer tampón fosfato y se debe utilizar búfer trisaminometano (TRIS), además de utilizar el sustrato o-nitrofenil acetato, para lograr efecto de inhibición de la enzima, los autores señalan en su trabajo, que el cobre ocasionó inhibición de AChE y presentó una tendencia dosis-respuesta.

Las proteínas son moléculas grandes y complejas que desempeñan muchas funciones críticas en los organismos, ya que realizan la mayor parte del trabajo en las células necesarias para estructuras, función y regulación de tejidos. En condiciones de estrés extremo, las proteínas suministran energía en las vías metabólicas y reacciones bioquímicas (Verma, 2020). En el presente trabajo, y en ambos tejidos de camarones expuestos a malatión fue observado que la concentración de proteína total incrementó a las 96 h de exposición. La tendencia detectada coincide con la reportada para la especie de *Fenneropenaeus indicus* cuando fueron expuestos a 2.5×10^{-5} mg L⁻¹ y a 5×10^{-5} mg L⁻¹ de malatión durante 20 días continuos (Sabu y Gopal 2016). Sin embargo, se ha determinado en peces *Labeo rohita* y *Oreochromis niloticus* expuestos a malatión (3×10^{-5} mg L⁻¹ y 1.42 mg L⁻¹, respectivamente) la concentración de proteína disminuyó significativamente (Thenmozhi *et al.*, 2011; Amin *et al.*, 2022). En hepatopáncreas fue determinado un incremento en la concentración de proteína en músculo, mientras que en análisis de proteína en hepatopáncreas, no fueron evidentes diferencias significativas.

CONCLUSIÓN

Debido al constante uso de sustancias químicas en los campos agrícolas del noroeste de Nayarit México, las cuales son utilizadas para la prevención de plagas que pudieran afectar los cultivos, los residuos han sido detectados en sedimento, agua y organismos de los sistemas de producción de camarón. Con los resultados obtenidos en el presente trabajo se ha evidenciado el efecto de dos sustancias químicas sobre la actividad enzimática y la concentración de proteína tota de camarones juveniles de *Litopenaeus vannamei* aún con bajas concentraciones utilizadas. Es necesario realizar más estudios para conocer efectos sobre sistema nervioso, inmunológico y sobre el metabolismo energético en concentraciones menores de malatión y sulfato de cobre.

AGRADECIMIENTOS

A Jonathan Omar Arreola Hernández por su apoyo y asesoría de manejo en la granja camaronera "Los Sauces" del ejido La Chiripa, municipio de San Blas Nayarit, México.

REFERENCIAS

- Amin, M., Yousuf, M. y Ahmad, N. (2022). Effects of pesticides on total protein content of different organs of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). *Pakistan J. Zool.* 54(3): 1435-1438. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20201118201101>
- Bautista-Covarrubias, J.C., Frías-Espericueta, M.G., Velarde-Montes, G.J., Domenico Voltolina; García-de la Parra, L.M. y Soto-Jiménez, M.F. (2015). Relationships between copper and stress indicators in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology.* 48 (3): 193-203. <https://doi.org/10.1080/10236244.2015.1024079>
- Bautista, C.J.C. (1995). Estudio preliminar de la toxicidad aguda del malatión sobre camarón blanco *Penaeus vannamei*. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ingeniería Pesquera. Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, México. 51 p.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry.* 72: 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Duarte-Restrepo, E., Jaramillo-Colorado, E.B. y Duarte-Jaramillo, L. (2020). Effects of chlorpyrifos on the crustacean *Litopenaeus vannamei*. *PLoS ONE* 15(4): e0231310. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231310>
- Ellman, L.G., Courtney, D.K., Valentino, A. y Featherstone, M.R. (1961). A new rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochemical Pharmacology.* 7: 89-95. [https://doi.org/10.1016/0006-2952\(61\)90145-9](https://doi.org/10.1016/0006-2952(61)90145-9)
- Eamkamon, T., Klinbunga, S., Thirakhupt, K., Menasveta, P. y Puanglarp, N. (2012). Acute toxicity and neurotoxicity of chlorpyrifos in black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *EnvironmentAsia.* 5(1): 26-31. <http://dx.doi.org/10.14456/ea.2012.3>
- EPA (2006). United States Environmental Protection Agency. R.E.D. FACTS. Endosulfan. Prevention, Pesticides and Toxic Substances (7508P). EPA 738-R-06-030.196 p.
- FIRA (2009). Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Situación actual y perspectivas del camarón en México. Boletín Informativo No. 3, 122 pp.
- Forget, J.,[†] Pavillon, J.F., [†] Beliaeff, B., [§] y Bocquene, G.[‡] (1999). Joint action of pollutant combinations (pesticides and metals) on survival (LC 50 values) and acetylcholinesterase activity of *Tigriopus brevicornis* (copepoda, harpacticoida). *Environmental Toxicology and Chemistry.* 18(5): 912-918. <https://doi.org/10.1002/etc.5620180514>
- Frasco, M.F., Fournier, D., Carvalho, F., y Guilhermino, L. (2025). Do metals inhibit acetylcholinesterase (AChE)? Implementation of assay conditions for

- the use of AChE activity as a biomarker of metal toxicity. *Biomarkers*. 10(5): 360-375. <https://doi.org/10.1080/13547500500264660>
- Frías-Espericueta, M.G., Aguilar-Juárez, M., Osuna-López, I., Abad-Rosales, S., Izaguirre-Fierro, G. y Voltolina, D. (2011). Los metales y la camaricultura en México. *Hidrobiológica*. 21(3): 217-228.
- Frías-Espericueta, M.G., Voltolina, D. y Osuna-López, I. (2003). Acute toxicity of copper, zinc, iron and manganese and of the mixtures copper-zinc and iron-manganese to whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 71: 68-74. <https://doi.org/10.1007/s00128-003-0132-z>
- García-de la Parra, L.M., Bautista-Covarrubias, J.C., Rivera-de la Rosa, N., Betancourt-Lozano, M., y Guilhermino, L. (2006). Effects of methamidophos on acetylcholinesterase activity, behavior, and feeding rate of the white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 65(3): 372-380. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.09.001>
- Gallardo-Rodríguez, J.J., Astuya-Villalón, A., Llanos-Rivera, A., Avello-Fontalba, V. y Ulloa-Jofré, V. (2018). A critical review on control methods for harmful algal blooms. *Reviews in Aquaculture*. 1-24. <https://doi.org/10.1111/raq.12251>
- González-Arias, C.A., Robledo-Marenco, M.L., Medina-Díaz, I.M. Velázquez-Fernández, J.B., Girón-Pérez, M.I., Quintanilla-Vega, B., Ostrosky-Wegman, P., Pérez-Herrera, N.E., y Rojas-García, A.E. (2010). Patrón de uso y venta de plaguicidas en Nayarit, México. *Revista. Internacional de Contaminación Ambiental*. 26 (3) 221-228.
- Herbert, A., Guilhermino, L., Assis de Silva, C.H. y Hansen, P.D. (1995). Acetylcholinesterase activity in aquatic organisms as pollution biomarker. *Zeitschrift für Angewandte Zoologie*. 3: 1-13.
- Lavarias, S. y García, C.F. (2015). Acute toxicity of organophosphate fenitrothion on biomarkers in prawn *Palaemonetes argentine* (Crustacea: Palaemonidae). *Environmental Monitoring Assessment*. (187): 65. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4224-5>
- López-Durán, R.M., Valencia-Quintana, R., Sánchez-Alarcón, J., Pérez-Aguilar, B., Salinas-Arreortua, N., Serrano, H., García-Suárez, M.D., Muñoz-Nava, H., Hernández-Hernández, A., Vidal-Moreno, C., y Gómez-Olivares, J.L. (2018). La estructura y función de las colinesterasas: blanco de los plaguicidas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 34: 69-80.
- Pham, B., Miranda, A., Allinson, G. y Nugegoda, D. (2017). Evaluating the non-lethal effects of organophosphorous and carbamate insecticides on the yabby (*Cherax destructor*) using cholinesterase (AChE, BChE), Glutathione S-Transferase and ATPase as biomarkers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 143: 283-288. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.05.035>
- Quintaneiro, C., Monteiro, M., Soares, A.M.:V.M, Ranville, J., Nogueira, A.J.A. (2014). Cholinesterase activity on *Echinogammarus meridionalis* (Pinkster) and *Atyaephyra desmarestii* (Millet): characterization and in vivo effects of copper and zinc. *Ecotoxicology*. 23:449-458. <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1204-z>
- Russom, C.L.†, Lalone C.A.†, Villeneuve, D.L.†, y Ankley, G.T.† (2014). Development of an adverse outcome pathway for acetylcholinesterase inhibition leading to acute mortality. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 33(10): 2157-2169. <https://doi.org/10.1002/etc.2662>
- Sabu, A.S. y Gopal, C. (2016). Changes in the haemolymph of *Fenneropenaeus indicus* exposed to malathion and endosulfan. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 4(1): 264-269.
- SIAP (2019). Nayarit Infografía Agroalimentaria 2012. Servicio de Información

- Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 56p.
- Tongbai, W., Boonplueng, R. y Damrongphol, P. (2012). Enzymatic responses of the riceland prawn, *Macrobrachium lanchesteri*, to chlorpyrifos exposure. *Biologia*. 67: 762-766. <https://doi.org/10.2478/s11756-012-0061-6>
- Thenmozhi, C., Vignesh, V., Thirumurugan, R., y Arun, S. (2011). Impacts of malathion on mortality and biochemical changes of freshwater fish *Labeo rohita*. *Iran Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 8 (4): 325-332.
- Varo, I., Nunes, B., Amat, F., Torreblanca, A., Guilhermino, L., y Navarro, J.C. (2007). Effect of sublethal concentrations of copper sulfate on seabream *Sparus aurata* fingerlings. *Aquatic Living Resources*. 20: 263-270. DOI: 10.1051/alr:2007039
- Verma, A. (2020). Biochemical Studies of the Freshwater Crabs, *Barytelphusa cunicularis*. *Journal UGC Care*. 40 (60):2765-2774.
- Vieira, M., y Nunes, B. (2021). Cholinesterases of marine fish: characterization and sensitivity towards specific chemicals. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13748-2>



Scientific Indexing Services



Directory of
Research Journal
Indexing

