

Biomonitoreo de arsénico en agua usando marcadores bioquímicos e histológicos de un organismo acuático

Campoy Díaz, Alejandra Daniela^{1,2,3}; Malanga, Gabriela^{4,5}; Vera González, Jerónimo Nicolás²; Robledo, Julieta Anabel²; Vega, Israel^{1,2,6}

¹ Instituto de histología y Embriología de Mendoza (IHEM), CONICET-Universidad Nacional de Cuyo.

² Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Médicas, Instituto de Fisiología.

³ Universidad Nacional de Villa Mercedes, Escuela de Ciencias de la Salud-Medicina, Departamento de Ciencias Básicas.

⁴ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Departamento de Ciencias Químicas.

⁵ IBIMOL-CONICET

⁶ Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Médicas, Departamento de Biología.

Correo electrónico de contacto: danielacampoyd@gmail.com

Recibido: 4 de septiembre de 2026 – Aceptado: 8 de septiembre de 2026

Introducción

El arsénico (As) es un metaloide ampliamente distribuido en el ambiente, cuya movilidad, biodisponibilidad y toxicidad dependen principalmente de su especiación química [1,2]. En ambientes dulceacuícolas oxigenados predomina el arseniato (AsV), mientras que bajo condiciones reductoras prevalece el arsenito (AsIII), siendo este último considerablemente más tóxico [1,3]. El As puede incorporarse a los ecosistemas acuáticos mediante procesos naturales y actividades antropogénicas, constituyendo una importante preocupación ambiental y sanitaria [4,5]. En Argentina, su presencia natural en aguas superficiales y subterráneas representa una fuente de exposición a la población humana mediante el consumo de agua y alimentos preparados con ella [6]. La exposición crónica a concentraciones superiores a 10 µg/L puede provocar hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), asociado con alteraciones cutáneas y efectos sistémicos cancerosos y no cancerosos [7].

En este contexto, los moluscos constituyen organismos adecuados para el biomonitoreo de

contaminación acuática debido a su amplia distribución, baja movilidad, capacidad de acumular contaminantes y posibilidad de manifestar respuestas fisiológicas, bioquímicas y moleculares frente a la exposición a metales [8–10]. Entre ellos, *Pomacea canaliculata* presenta características biológicas adecuadas para su utilización como bioindicador, incluyendo abundancia, resistencia a diferentes condiciones ambientales y posibilidad de mantenimiento bajo condiciones controladas [11,12]. Estudios experimentales de laboratorio mostraron que la glándula digestiva y el riñón acumulan As a partir de exposiciones cortas a bajas concentraciones [12–14]. En este marco, este estudio describe los efectos tisulares y bioquímicos asociados a la exposición de *P. canaliculata* a AsV, con el propósito de identificar biomarcadores con potencial aplicación en futuros programas de monitoreo ambiental.

Objetivos

Los objetivos específicos de este trabajo fueron:

(1) estudiar los cambios morfológicos del parénquima renal y de los islotes de hemocitos

renales y (2) evaluar los cambios bioquímicos del riñón luego de una exposición corta (96 horas) a una concentración ecológicamente relevante de As inorgánico (AsV; 500 µg/L).

Metodología

Se utilizaron animales de una línea de cultivo de *P. canaliculata* mantenido en laboratorio en el Instituto de Fisiología de la Facultad. Los procedimientos de cría y experimentación fueron aprobados por el Comité para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio (CICUAL) de la Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Cuyo (protocolo N.º 55/2015). Los animales adultos se dividieron en dos grupos experimentales (N=6 cada uno): (1) control y (2) expuesto a 500 µg/L de AsV durante 96 horas. Todos los grupos fueron sacrificados al finalizar el período de exposición y, para minimizar el dolor, los animales fueron colocados en un baño de hielo durante 10 minutos. Luego del sacrificio, el riñón fue disecado y una parte se almacenó a -80 °C para las determinaciones bioquímicas, mientras que el resto se fijó durante 7 días en líquido de Bouin diluido (1:2), para su posterior análisis mediante microscopía óptica.

Determinaciones bioquímicas: Se evaluó el daño oxidativo tisular del riñón mediante la determinación del daño oxidativo a proteínas, a través de la cuantificación espectrofotométrica de grupos carbonilos mediante la reacción con 2,4-dinitrofenilhidracina (DNPH) [15]. La respuesta de la defensa antioxidante fue evaluada mediante la determinación de la actividad de las enzimas catalasa (CAT) [16] y glutatión-S-transferasa (GST) [17]. La concentración de ácido úrico, antioxidante no enzimático, se determinó con un kit comercial de GT Lab.

Histología y morfometría: Las muestras fijadas se deshidrataron en concentraciones crecientes de

etanol, se aclararon en xileno y luego se incluyeron en una mezcla de parafina y resina 1:1. Se obtuvieron secciones de aproximadamente 5 µm de espesor, que posteriormente fueron teñidas con hematoxilina y eosina. Se tomaron micrografías en un microscopio Nikon Eclipse 80i utilizando una cámara Nikon DS-Fi1-U3.

Análisis estadístico: Las diferencias entre los grupos control y expuesto a As se analizaron mediante una prueba *t* de Student, con un nivel de significancia de $p = 0,05$.

Resultados

El AsV, luego de una exposición aguda, genera daño oxidativo a proteínas en riñón, evidenciado por un aumento significativo de los grupos carbonilos renales (Figura 1.a) y el consumo de ácido úrico, principal molécula antioxidante no enzimática del animal (Figura 1.b). El sistema de defensa antioxidante enzimático, representado por la actividad de CAT (Figura 1.c) y GST (Figura 1.d) disminuye significativamente, por lo que parecen verse afectadas por el estado oxidativo celular y no contribuyen eficazmente a controlar las especies reactivas generadas. Todos estos parámetros indican que el AsV genera estrés oxidativo en el riñón del animal de estudio.

La histología renal (Figura 2) muestra un incremento de la cantidad de células (hemocitos) de los islotes hemocitarios en animales tratados con AsV. Los hemocitos de la circulación han sido asociados al transporte del As, tanto en su forma oxidada (AsV) como reducida (AsIII), entre la branquia y el riñón, por lo que el aumento del tamaño de los islotes que los contienen podría estar relacionado con la migración de estas células hacia estos tejidos.

Discusión

Estos resultados sugieren que la exposición a As en *Pomacea canaliculata* induce estrés oxidativo y

alteraciones tisulares renales, comprometiendo componentes clave de las defensas antioxidantes. La disminución del ácido úrico podría reflejar su utilización como mecanismo inicial de protección, mientras que la reducción de la actividad de CAT y GST sugiere un deterioro de la capacidad antioxidante. El incremento de los islotes hemocitarios podría relacionarse con la movilización de hemocitos involucrados en el

transporte de As hacia el riñón. Estos resultados podrían sentar las bases para implementar programas de biomonitoreo de As en ecosistemas acuáticos superficiales en el centro-oeste de Argentina.

Palabras clave: arsénico - biomonitoreo - contaminación acuática - biomarcadores - *Pomacea canaliculata*.

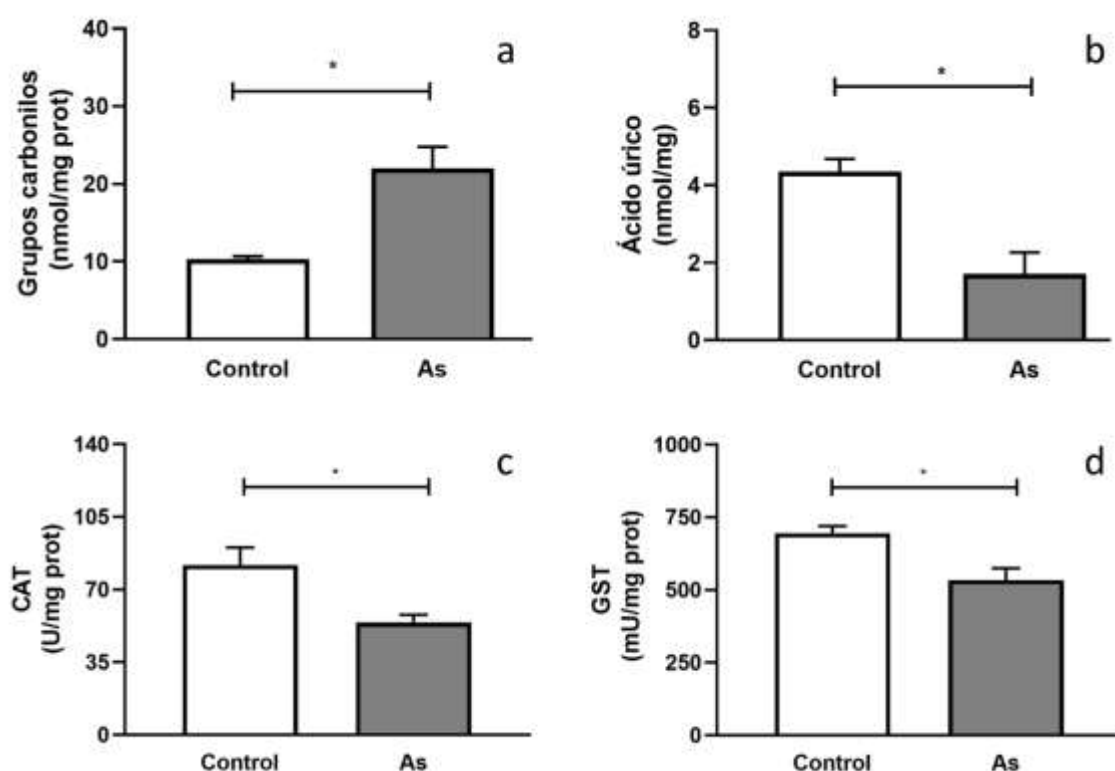


Figura 1. Daño a proteínas (a), concentración de ácido úrico (b), actividad enzimática de catalasa (c) y glutatión-s-dismutasa (d) en riñón de animales controles (blanco) y expuestos por 96 h a AsV (gris). Media ± EE. N=5. Asterisco indica diferencia significativa (t-test) entre grupos de animales expuestos y controles.

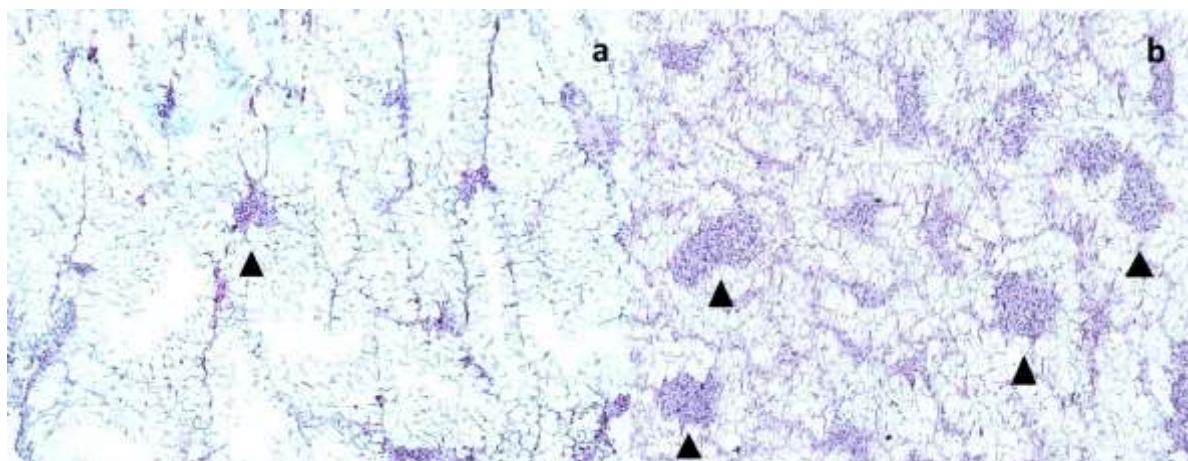


Figura 2. Micrografía de riñón de ejemplares de *Pomacea canaliculata* controles (a) o expuestos a AsV (b). Aumento: 20X. Las flechas negras señalan los islotes hemocitarios.

Referencias bibliográficas

- Mandal BK, Suzuki KT. Arsenic round the world: a review. *Talanta*. 2002;58:201-235.
- Smedley PL, Kinniburgh DG. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl Geochem*. 2002;17:517-568.
- Rahman MA, Hasegawa H, Lim RP. Bioaccumulation, biotransformation and trophic transfer of arsenic in the aquatic food chain. *Environ Res*. 2012;116:118-135.
- World Health Organization. Environmental health criteria 224: arsenic and arsenic compounds. Geneva: World Health Organization; 2001. 108 p.
- World Health Organization. Arsenic in drinking-water: background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. Geneva: World Health Organization; 2011. 16 p.
- Jaafar M, Marcilla AL, Felipe-Sotelo M, Ward NI. Effect of food preparation using naturally-contaminated groundwater from La Pampa, Argentina: estimation of elemental dietary intake from rice and drinking water. *Food Chem*. 2018;246:258-265.
- Litter MI, Ingallinella AM, Olmos V, Savio M, Difeo G, Botto L, et al. Arsenic in Argentina: occurrence, human health, legislation and determination. *Sci Total Environ*. 2019;676:756-766.
- Oehlmann J, Di Benedetto P, Tillmann M, Duft M, Oetken M, Schulte-Oehlmann U. Endocrine disruption in prosobranch molluscs: evidence and ecological relevance. *Ecotoxicology*. 2007;16:29-43.
- Gupta SK, Singh J. Evaluation of mollusc as sensitive indicator of heavy metal pollution in aquatic system: a review. *IIOAB J*. 2011;2:49-57.
- Zhou Q, Zhang J, Fu J, Shi J, Jiang G. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Anal Chim Acta*. 2008;606:135-150.
- Tamburi NE, Martín PR. Effects of food availability on reproductive output, offspring quality and reproductive efficiency in the apple snail *Pomacea canaliculata*. *Biol Invasions*. 2011;13:2351-2360.
- Campoy-Díaz AD, Arribére MA, Guevara SR, Vega IA. Bioindication of mercury, arsenic and uranium in the apple snail *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda, Ampullariidae): bioconcentration and depuration in tissues and symbiotic corpuscles. *Chemosphere*. 2018;196:196-205.
- Campoy-Díaz AD, Malanga G, Giraud-Billoud M, Vega IA. Changes in the oxidative status and damage by non-essential elements in the digestive gland of the gastropod *Pomacea canaliculata*. *Front Physiol*. 2023;14:1123977.
- Juarez A, Vega IA, Mayorga LS, Guevara SR, Arribére MA. An arsenic-76 radiotracer to study the routes of assimilation, hemolymph distribution, and tissue inventories in the bioindicator organism *Pomacea canaliculata*. *Sci Total Environ*. 2022;815:152760.
- Levine RL, Garland D, Oliver CN, Amici A, Climent I, Lenz AG, et al. Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins. *Methods Enzymol*. 1990;186:464-478.
- Aebi H. Catalase in vitro. *Methods Enzymol*. 1984;105:121-126.
- Habig WH, Pabst MJ, Jakoby WB. Glutathione S-transferases: the first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J Biol Chem*. 1974;249:7130-7139.