



ECOTOXICOLOGICAL RISK ASSESSMENT OF CADMIUM USING SCALLOP *ARGOPECTEN PURPURATUS* IN THE PERUVIAN SEA

EVALUACIÓN DE RIESGO ECOTOXICOLÓGICO DEL CADMIO USANDO LA CONCHA DE ABANICO *ARGOPECTEN PURPURATUS* (LAMARCK, 1819) EN EL MAR PERUANO

Giovanna Vera-Diego^{1,*} & Jorge Tam-Málaga^{1,2}

¹ Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. roselinda.vera@urp.edu.pe jorge.tam@urp.edu.pe

² Instituto del Mar del Perú, Lima, Perú. jtam@imarpe.gob.pe

* Corresponding author: roselinda.vera@urp.edu.pe

Giovanna Vera-Diego:  <https://orcid.org/0000-0001-8727-4466>

Jorge Tam-Málaga:  <http://orcid.org/0000-0001-8224-4313>

ABSTRACT

The present study had an objective to determine the toxicity of cadmium ion (Cd^{+2}) using the bivalve mollusk *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819) “concha de abanico” and to estimate the ecotoxicological risk in different areas of the Peruvian coast. Juvenile and adult individuals were collected from Pucusana Bay (Lima, Peru), and acute (96 h) ecotoxicological bioassays were carried out with six concentrations and a control. Mean effective concentration (CE_{50}) and ecotoxicological risk was calculated in selected areas, resulting in null risk (Mesa Point), low risk (Sechura Bay and Paracas Bay), and medium risk (Conchan Beach). The mean effective concentration of Cd^{+2} using scallop was lower in juveniles ($0,352 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) than in adults ($0,545 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), and this species was more sensible to Cd^{+2} than other Peruvian native species, which supports the hypothesis that Peruvian scallop is an adequate test organism for carrying

Este artículo es publicado por la revista Paideia XXI de la Escuela de posgrado (EPG), Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. 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.

out ecotoxicological bioassays. These results will allow for the establishment of corrective measures, such as permanent monitoring and effluent treatment systems, to maintain the integrity and health of marine ecosystems where fishing and aquaculture activities are carried out.

Keywords: cadmium – ecotoxicological risk – mortality – Peru – pollution – scallop

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la toxicidad del ión cadmio (Cd^{+2}) usando el molusco bivalvo *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819) “concha de abanico” y estimar el riesgo ecotoxicológico en diferentes áreas de la costa peruana. Se colectaron individuos juveniles y adultos de la Bahía Pucusana (Lima, Perú), y se realizaron pruebas ecotoxicológicas agudas a 96 h con seis concentraciones de Cd^{+2} más un control. Se calculó la concentración efectiva media (CE_{50}) y el riesgo ecotoxicológico de cuatro áreas seleccionadas, resultando en riesgo nulo (Punta Mesa), riesgo bajo (Bahía Sechura y Bahía Paracas) y riesgo medio (Playa Conchán). La concentración efectiva media de Cd^{+2} usando la concha de abanico fue menor en juveniles ($0,352 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) que en adultos ($0,545 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), y esta especie fue más sensible al Cd^{+2} que otras especies nativas peruanas, lo cual apoya la hipótesis de que la concha de abanico es un organismo prueba adecuado para realizar bioensayos ecotoxicológicos. Estos resultados permitirán establecer medidas correctivas, como monitoreos permanentes y sistemas de tratamiento de efluentes, para mantener la integridad y salud de los ecosistemas marinos donde se realizan actividades de pesca y acuicultura.

Palabras clave: cadmio – concha de abanico – contaminación – mortalidad – Perú – riesgo ecotoxicológico

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de nuestro planeta están siendo alterados por la contaminación de tipo antropogénico, provocando la extinción de especies que habitan aire, suelo y agua; así como la reducción de la calidad de los alimentos que el planeta provee y afectando la salud de los seres humanos. Uno de los agentes contaminantes más peligrosos son los metales pesados (cobre, plomo, mercurio, cadmio, etc.), que se utilizan ampliamente en las actividades industriales, mineras, agrícolas, entre otras, y que se necesitan controlar para evitar sus impactos negativos (Machovsky-Capuska *et al.*, 2020; Pabón *et al.*, 2020; Stewart *et al.*, 2021)

El cadmio (Cd^{+2}) es uno de los metales pesados que forma parte de rocas y suelos, se encuentra asociado con el zinc, y está siendo liberado al medio ambiente a una tasa de 25000 t anuales (Reyes *et al.*, 2016). En el mar, este metal pesado está considerado dentro de los parámetros de control en los monitoreos ambientales tanto en la columna de agua como en organismos bentónicos (Cárdenas, 2017; Yu *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2021). Además, se encuentra legislado mediante estándares de calidad en diferentes países (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999; Karthikeyan *et al.*, 2021). La Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció un límite para la ingesta de este metal en $7 \text{ ug}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso corporal en los humanos, siendo el riñón el órgano diana para controlar la toxicidad y puso

énfasis sobre las alteraciones óseas que causa en la ingesta de un alto consumo de mariscos y carnes de organismos marinos (PNUMA, 2010; Madueño, 2017; Loaiza *et al.*, 2018; Bosh *et al.*, 2020; García-Chevesich *et al.*, 2021).

A nivel mundial, se han realizado bioensayos determinando la toxicidad del cadmio en moluscos (Swiacka *et al.*, 2019). En el Perú, se han encontrado valores de Cd^{+2} que sobrepasan los estándares en los tejidos de los organismos marinos, especialmente de moluscos (Marín & García, 2015; Condori *et al.*, 2021; Loaiza *et al.*, 2022), debido a ello se hace necesario realizar estudios de causa-efecto con organismos autóctonos o nativos que sirvan de base para programas de manejo del riesgo ecotoxicológico en nuestro país.

El riesgo ecotoxicológico se determina a partir de bioensayos de laboratorio, y permite dar soporte a las leyes o normas sobre la calidad del agua para proteger a los ecosistemas en diferentes países de América, Asia y Europa (Moledo *et al.*, 1998; Karthikeyan *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2021; Lara *et al.*, 2022). En el Perú, hay estudios sobre toxicidad de diversos metales y con especies de diversos niveles tróficos, pero no se han realizado pruebas ecotoxicológicas en agua ni se ha estimado el riesgo ecotoxicológico del cadmio usando la especie nativa *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) “concha de abanico”, a pesar de su importancia ecológica y económica (Córdova-Rodríguez, 2021). En este contexto, se hipo-

tetiza que la concha de abanico es un organismo sensible para ser utilizado como organismo prueba en bioensayos ecotoxicológicos.

Por tales motivos, se plantearon como objetivos del presente trabajo: (i) estimar la toxicidad de Cd^{+2} usando la concha de abanico *A. purpuratus*, (ii) comparar la toxicidad del Cd^{+2} en la concha de abanico con respecto a otras especies nativas peruanas, y (iii) evaluar el riesgo ecotoxicológico del Cd^{+2} en diferentes áreas de la costa peruana, basado en la toxicidad sobre la concha de abanico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de organismos y acondicionamiento: la colecta de organismos se efectuaron y las pruebas ecotoxicológicas se realizaron en el Laboratorio de Ecotoxicología Acuática del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Lima, Perú. Los 300 individuos de *A. purpuratus* “concha de abanico” fueron colectados de la concesión de cultivos de la empresa Mariexport (Bahía de Pucusana, Lima, Perú Fig. 1). El tiempo de acondicionamiento de las conchas de abanico fue de una semana, con recambios diarios de agua y alimento fitoplanctónico (*Chaetoceros gracilis* Schütt, 1895, *Isochrysis galbana* Parke, 1949, y *Dunaliella tertiolecta* Butcher, 1959).

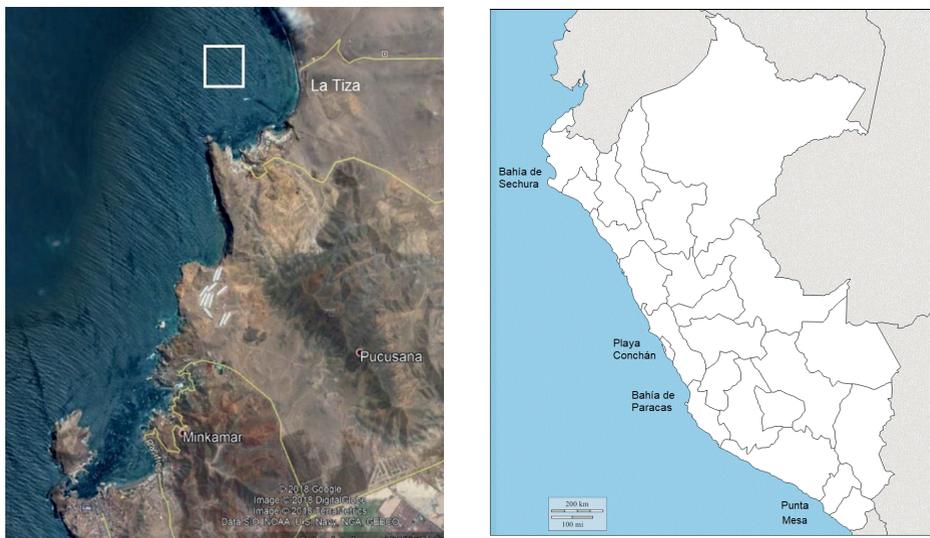


Figura 1. Ubicación del banco de concha de abanico frente a La Tiza (cuadrado) (izquierda) y áreas seleccionadas para evaluar el riesgo ecológico (derecha).

Preparación de las soluciones del metal cadmio

Se prepararon diluciones de cloruro de cadmio (CdCl_2) a partir de una solución stock de 61,322 mg de $\text{Cd}_{+2} \cdot \text{L}^{-1}$. Como agua de dilución se utilizó agua de mar esterilizada con luz U.V. Se realizó una prueba preliminar o «screening test» con un control y cinco niveles de cadmio desde 0,1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ a 0,9 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, con dos réplicas por nivel, por un tiempo de 24 h, obteniéndose los rangos finales de cadmio y las pruebas definitivas tanto para juveniles como para adultos. Para las pruebas definitivas se utilizó un control y seis concentraciones de la solución de cadmio desde 0,1 $\text{m} \cdot \text{L}^{-1}$ a 0,7 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, para las conchas juveniles, y desde 0,4 a 0,8 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para las conchas adultas, con tres réplicas por nivel.

Pruebas ecotoxicológicas

El procedimiento para realizar las pruebas ecotoxicológicas con *A. purpuratus* siguió el Manual Introductorio de Ecotoxicología Acuática (Sánchez & Vera, 2001) y los protocolos de trabajo de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (USEPA) de Weber (1993).

Las pruebas ecotoxicológicas fueron agudas a 96 h con renovación de la concentración o dilución al segundo día, con aireación, eliminación periódica de las excretas y alimentación los mismos días de la renovación de la concentración.

Las pruebas preliminares se realizaron con tres conchas por acuario de 1 L; las pruebas definitivas se realizaron con seis conchas por acuario de 10 L, resultando en 18 organismos por concentración, mantenidos en mesas termorregulables.

Adicionalmente, se registraron los parámetros ambientales tales como: temperatura con termómetro de mercurio, oxígeno con el oxímetro Hanna HI 9143, el pH con un potenciómetro ESD MODEL 60 y la salinidad con un refractómetro SPARTAN A 366 ATC. Las condiciones generales de las pruebas ecotoxicológicas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de las pruebas ecotoxicológicas con el metal cadmio usando *Argopecten purpuratus*.

Organismo prueba	<i>Argopecten purpuratus</i> “concha de abanico”
Tipo de prueba	Renovación parcial cada 48 h
Duración de la prueba (h)	96
Agitación	Ausente
Aireación	Presente
Agua de dilución	Agua de mar filtrada, estéril
Oxígeno disuelto	5,8 – 7,5 mg·L ⁻¹
pH	6,49 a 7,53
Salinidad (ups)	36
Temperatura (°c)	19 – 20 °C
Luz (L: O)	11 : 13
Talla de los organismos de prueba	39 - 50 mm (juvenil) 51 – 79 mm (adulto)
Número de organismos por acuario	6
Número de réplicas por concentración	3
Número de organismos por concentración	18
Alimentación	<i>Chaetoceros gracilis</i> Schütt, 1895 (a partir de las 48 h)
Limpieza de los acuarios	A las 48 h
Concentraciones de prueba definitiva	6 y control
Respuesta	Mortalidad (%)
Criterio de aceptabilidad de la prueba	90 % o más de supervivencia en los controles.

Análisis de datos

La concentración efectiva media (CE₅₀) se calculó usando el programa Probit (Weber, 1993). El riesgo ecológico se calculó a través del cociente de peligro con la siguiente ecuación (Kolluru *et al.*, 1998):

$$\text{Riesgo ecológico} = CA / CR$$

Donde:

CA = Concentración de cadmio en agua (mg·L⁻¹) = CT / FTA

CR = Concentración de cadmio de referencia (mg·L⁻¹) = CE₅₀ / FS

FS = Factor de seguridad = 50 (Chapman *et al.*, 1998).

CT = Concentración de cadmio en tejido (µg·g⁻¹)

FTA = Factor Tejido / Agua = 113,6

Los datos de concentraciones de Cd⁺² en tejido y agua de las áreas seleccionadas (Fig. 1), se obtuvieron de la literatura (Ibárcena, 2007; Marín & García, 2015; Barriga-

Sánchez & Aranda, 2018). El riesgo ecotoxicológico fue clasificado como: nulo (< 0,1), bajo (0,1 – 1,0), medio (1,1 - 10) y alto (> 10) de acuerdo a Yan *et al.* (2015). La sensibilidad de la concha de abanico se evaluó comparando las CE₅₀ de otras especies nativas peruanas.

Aspectos éticos

Este estudio se llevó a cabo en estricta conformidad con las recomendaciones de Sánchez & Vera (2001).

RESULTADOS

Efecto ecotoxicológico del cadmio en juveniles (39 - 50 mm de longitud) de concha de abanico *Argopecten purpuratus*

Los datos de mortalidad de las pruebas ecotoxicológicas se ajustaron significativamente al modelo Probit (rs = 0,95, p < 0,00), resultando en una concentración efectiva media (CE₅₀) de 0,352 mg·L⁻¹ de Cd⁺², a un tiempo de exposición de 96 h (Fig. 2).

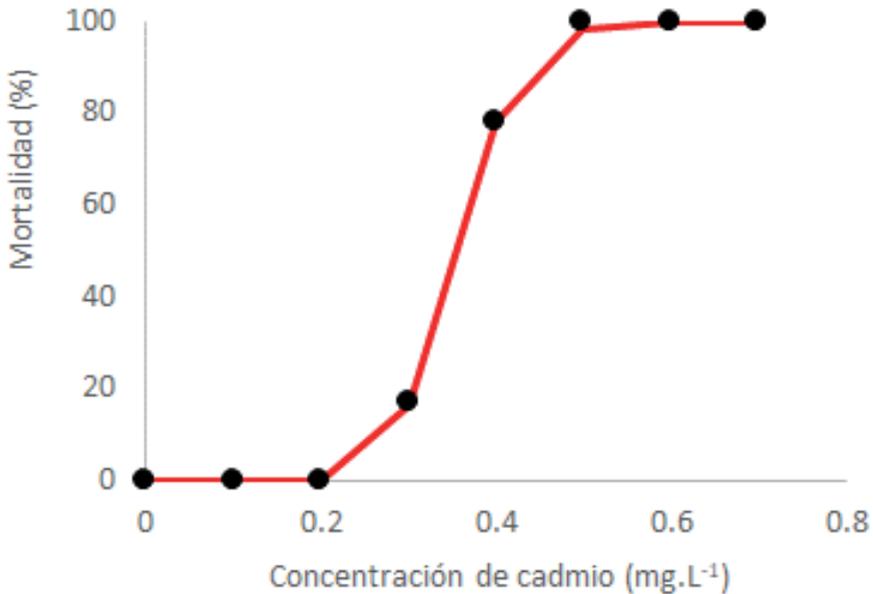


Figura 2. Curva concentración del cadmio vs. mortalidad de la concha de abanico *Argopecten purpuratus* juvenil.

Efecto ecotoxicológico del cadmio adultos (51 - 79 mm de longitud) de concha de abanico *Argopecten purpuratus*

Los datos de mortalidad de las pruebas ecotoxicológicas se ajustaron significativamente al modelo PROBIT

(rs = 0,96, p < 0,00), resultando en una concentración efectiva media (CE₅₀) de 0,54 mg·L⁻¹ a un tiempo de exposición de 96 h (Fig. 3).

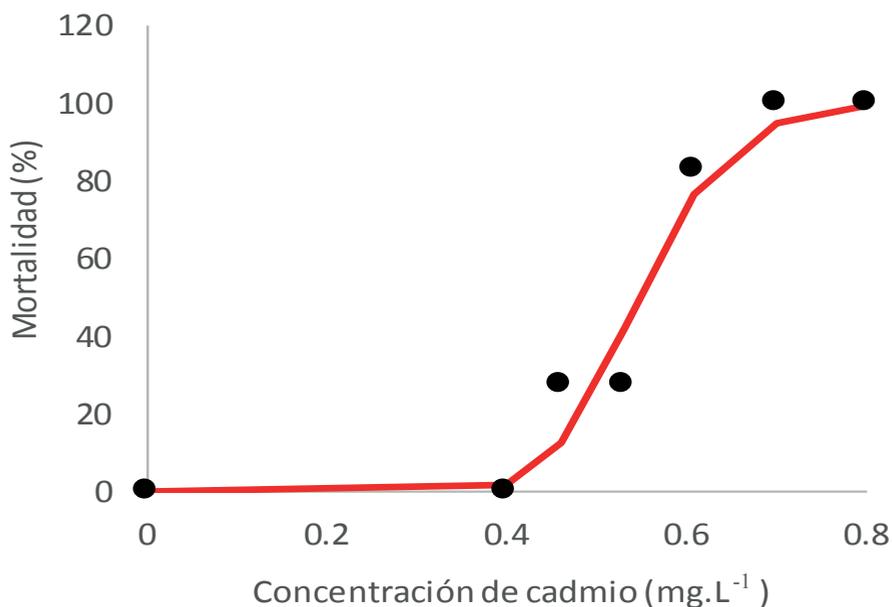


Figura 3. Curva concentración del cadmio vs. mortalidad de concha de abanico *Argopecten purpuratus* adulta.

Comparación de la sensibilidad al cadmio de la concha de abanico y otras especies marinas nativas peruanas

Las especies con menor concentración efectiva media (CE_{50}) de cadmio son más sensibles a este metal. En base a los valores de CE_{50} de diferentes especies marinas peruanas nativas (Tabla 2), se realizó un ranking de sensibilidad al cadmio de mayor a menor, resultando en la siguiente secuencia: *A. purpuratus* (juvenil) > *A. purpuratus* (adulto) > *Emerita analoga* (Stimpson, 1857) (muy muy) > *C. gracilis* (diatomea) > *Odontesthes regia regia* (Humboldt, 1821) (pejerrey) > *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve,

1873 (diatomea). De esta manera, la concha de abanico resulta ser un organismo sensible para ser utilizado como organismo prueba en los bioensayos ecotoxicológicos, lo cual apoya la hipótesis planteada.

Tabla 2. Concentración efectiva media (CE_{50}) de cadmio usando diferentes especies marinas peruanas nativas y extranjeras.

Especies	Estadio	CE_{50} (mg.L ⁻¹)	Tiempo de exposición (h)	Autor
<i>Skeletonema costatum</i>	Adultos	1,42	96	Tam <i>et al.</i> (2000)
<i>Odontesthes regia</i>	Postlarvas	0,648	96	Vera <i>et al.</i> (2001a)
<i>Chaetoceros gracilis</i>	Adultos	0,596	96	Vera <i>et al.</i> (2001b)
<i>Emerita analoga</i>	Zoea	0,585	96	Sánchez <i>et al.</i> (1998)
<i>A. purpuratus</i> (Chile)	Embrión	1,55	48	Romero-Murillo <i>et al.</i> (2018)
<i>A. purpuratus</i> (Chile) <i>Argopecten</i>	Juveniles	0,48	96	Romero-Murillo <i>et al.</i> (2018)
<i>ventricosus</i> (México)	Juveniles	0,396	96	Sobrino-Figueroa <i>et al.</i> (2007)
<i>A. purpuratus</i>	Adultos	0,545	96	presente trabajo
<i>A. purpuratus</i>	Juveniles	0,352	96	presente trabajo

Riesgo ecotoxicológico del cadmio en diferentes áreas de la costa peruana

El riesgo ecotoxicológico del Cd⁺² en Punta Mesa fue nulo (0,049-0,075), en la bahía de Paracas (0,230 - 0,356) y bahía de Sechura (0,170

- 0,263) fue bajo, mientras que en la playa Conchán (3,229-5,000) fue medio (Tabla 3). Cabe resaltar que el riesgo ecotoxicológico fue mayor para conchas de abanico juveniles que para adultos.

Tabla 3. Riesgo ecológico para juveniles y adultos de concha de abanico en las bahías seleccionadas de la costa peruana.

Estadio	Área	Riesgo ecológico del cadmio para la concha de abanico	Nivel
Juvenil	Bahía de Sechura	0,263	Bajo
	Bahía de Paracas	0,356	Bajo
	Playa Conchán	5,000	Medio
	Punta Mesa	0,075	Nulo
Adulto	Bahía de Sechura	0,170	Bajo
	Bahía de Paracas	0,230	Bajo
	Playa Conchán	3,229	Medio
	Punta Mesa	0,049	Nulo
	Promedio	1,172	

DISCUSIÓN

Las conchas de abanico juveniles (39 - 50 mm) mostraron mayor sensibilidad al cadmio (CE_{50} de 0,35 $mg \cdot L^{-1}$), mientras que las conchas adultas (51 - 79 mm) presentaron una mayor tolerancia ecotoxicológica (CE_{50} de 0,545 $mg \cdot L^{-1}$). La sobrevivencia de la concha de abanico en los controles fue del 100 %, lo que indica una óptima manipulación durante la prueba ecotoxicológica de la calidad del agua y del alimento, así como las variables fisicoquímicas como el oxígeno, el pH, la temperatura y la salinidad (Vera, 2021).

En la Tabla 2 se observa una alta sensibilidad al metal cadmio en *Argopecten ventricosus* (G.B. Sowerby II, 1842) del estado de Baja California, al sur de México (Sobrino-Figueroa et al. 2007), donde se determinó una CE_{50} de 0,396 $mg \cdot L^{-1}$, valor muy semejante al obtenido en el presente trabajo. La especie *A. purpuratus* chilena, en su estadio de embrión, tiene una Concentración Efectiva Media (CE_{50}) de Cd^{+2} de 1,55 $mg \cdot L^{-1}$, mientras que los juveniles tienen una CE_{50} de 0,48 $mg \cdot L^{-1}$. Romero-Murillo (2018) indica que la alta tolerancia de los embriones se debe a la alta inducción de mecanismos de defensa, tal como el de la metalotioneína (MT) producido por la vía materna, que permite proteger a la progenie, por lo que los juveniles presentaron una mayor sensibilidad en comparación a las larvas.

Los criterios de calidad ambiental deben tener en consideración la tolerancia de las especies sensibles, a fin de proteger una mayor proporción

de la comunidad acuática (Cardwell et al., 1999; Tlili & Mouneyrac, 2021). En tal sentido, es necesario conocer la variabilidad y comparar la sensibilidad de especies pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos y niveles tróficos. Los resultados de los trabajos de investigación realizados con especies peruanas de diferentes niveles tróficos sugieren que la especie fitoplanctónica *S. costatum* obtuvo una mayor tolerancia al cadmio con una CE_{50} de 1,42 $mg \cdot L^{-1}$ seguida del pez pejerrey *O. regia* con 0,648 $mg \cdot L^{-1}$, la diatomea *C. gracilis* con 0,596 $mg \cdot L^{-1}$ y larvas del crustáceo *E. analoga* con 0,585 $mg \cdot L^{-1}$. La concentración efectiva media (CE_{50} %) de juveniles y adultos de *A. purpuratus* nos demuestra que es una especie sensible, y como forma parte del macrozoobentos, el cual está en contacto con el sedimento, la resuspensión de sedimentos contaminados puede generar el ingreso de cadmio conjuntamente con el fitoplancton que ingiere o filtra (Metian et al., 2008; Reyes, 2019).

Barriga-Sánchez & Aranda (2018) calcularon un cociente de peligro objetivo, usando como referencia el MRL (Maximum Reference Level) de la Unión Europea, obteniendo valores de riesgo ecológico ligeramente menores a los del presente estudio. Ambos estudios corroboran que el riesgo ecológico en las bahías de Paracas y Sechura es bajo, según la escala de Yan et al. (2015).

El riesgo ecotoxicológico en el presente estudio se calculó usando las concentraciones de cadmio encontradas en tejido de conchas

de abanico de la bahía de Sechura ($0,2105 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) (Barriga-Sánchez & Aranda, 2018), playa Conchán ($4,0095 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) (Marín & García, 2015), bahía de Paracas ($0,2848 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) (Barriga-Sánchez & Aranda, 2018) y la concentración de cadmio en el mar en punta Mesa ($0,00053 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (Ibárcena, 2007). Sin embargo, en la presente investigación las pruebas ecotoxicológicas permitieron estimar niveles de riesgo más realistas, ya que se usaron organismos nativos peruanos (concha de abanico) para calcular los valores de referencia, en lugar de usar valores de otros países, y además se usaron diferentes estadios para calcular estos valores de referencia por separado para juveniles y adultos.

Adicionalmente, cabe señalar que los valores de referencia obtenidos para agua de mar para juveniles ($0,0070 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) fue menor, y para adultos ($0,0109 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) fue mayor, que el Estándar de Calidad Ambiental (ECA, MINAM 2017) del Cd^{+2} disuelto ($0,0088 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) para la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E3: Ecosistemas costeros y marinos, en ambientes Marinos.

La concentración efectiva media de Cd^{+2} usando la concha de abanico a un tiempo de exposición de 96 h, fue de $0,352 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para juveniles y de $0,545 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para adultos.

La concha de abanico fue más sensible al Cd^{+2} en comparación a otras especies nativas peruanas. La sensibilidad al cadmio de mayor a menor fue: *A. purpuratus* (juvenil) > *A. purpuratus* (adulto) > *E. analoga*

(muy muy) > *C. gracilis* (diatomea) > *O. regia regia* (pejerrey) > *S. costatum* (diatomea). El riesgo ecológico del Cd^{+2} para la concha de abanico para diferentes áreas de la costa peruana fluctuó entre nulo (Punta Mesa) y medio (Playa Conchán), siendo el riesgo ecotoxicológico mayor para conchas de abanico juveniles que para adultos.

La concha de abanico *A. purpuratus* presentó mayor sensibilidad al cadmio que los peces, por lo que se recomienda usar esta especie como organismo en las pruebas ecotoxicológicas, y para pruebas de bioconcentración o bioacumulación de metales.

Se sugiere estudiar los mecanismos de detoxificación de metales de los bivalvos bioacumuladores, ya que la proteína que ayuda a esta detoxificación es la metalotioneína, y cuando este mecanismo es afectado por la alta concentración del metal en el medio, el tiempo de exposición y la baja velocidad de la excreción de los metales se produce la bioacumulación de estos metales en los diferentes órganos tales como los riñones, hígado y gónadas (Kruzynski, 2004; Miglio, 2020; Samuel, 2021).

También se recomienda investigar otros bivalvos de consumo humano directo para determinar su Concentración efectiva media (CE_{50}) como: los choros (*Aulacomya atra* (Molina, 1782), machas (*Mesodesma donacium* (Lamarck, 1818) y las almejas (*Gari solida* (Gray, 1828), ya que en estas especies se han encontrado concentraciones de cadmio sumamente más altas que

en *A. purpuratus* (Marín & García, 2015). También podemos investigar a las especies donde se han encontrado altas concentraciones del metal cadmio en la bahía de Sechura, no tan sólo en la concha de abanico sino también en el bivalvo navajuela (*Tagelus dombeii* (Lamarck, 1818)) y en las palabritas (*Donax* sp. Linnaeus, 1858) (Rebaza, 2016). Para esto, se requiere realizar pruebas ecotoxicológicas en sedimentos.

Finalmente, se recomienda establecer un programa de monitoreo de metales pesados en las tres matrices del ecosistema: agua, sedimento y organismos bioacumuladores, especialmente

en los bancos naturales de bivalvos, y realizar un mapeo toxicológico de las zonas que requieren más control y supervisión en puntos de descargas de efluentes industriales al mar (Sánchez *et al.*, 1998).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto del Mar del Perú (IMARPE), especialmente al personal del Laboratorio de Investigación en Ecotoxicología Acuática: Edwin Pinto y José Ortega, por el apoyo durante el trabajo de laboratorio, y a Manuel Fiestas, por el apoyo durante el trabajo de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barriga-Sánchez, M. & Aranda, P. D. 2018. Bioaccumulation of lead, cadmium and mercury in *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) and *Aulacomya ater* (Molina, 1782), commercial species from Peru, and risk assessment. *Ecología Aplicada*, 17: 53-60.
- Bosh, J.; Castell, V.; Timoner, I.; Domingo, J.; González, N., Nadal, M., Abuin, S., Calderón, J. & Rúbies, T. 2020. *Contaminantes químicos. Estudio de dieta total en Cataluña-Metales pesados, dioxinas (PCDD/F) y bifenilos policlorados (PCB)*. (1ra ed). Agencia Catalana de seguridad alimentaria.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary table*. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Cárdenas, F. 2017. *Bioacumulación en moluscos gasterópodos marinos por arsénico, cadmio, cobre, mercurio y plomo en el área natural protegida Punta Coles, Ilo-Moquegua*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
- Cardwell, R. D.; Brancato, M. S.; Toll, J.; De Forest D. & Tear, L. 1999. Aquatic ecological risks posed by tributyltin in United States surface waters: pre-1989 to 1996 data. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 18: 567-577.
- Condori, L.; Chaparro, E. & Tirado, L. 2021. Bioacumulación de metales pesados en *Concholepas concholepas*, *Fissurella latimarginata* y *Thais chocolata* en dos bancos naturales de Ite, Perú. *Ciencia & Desarrollo*, 20: 3-16.

- Cordova-Rodríguez, K., Flye, J.; Fernandez, E.; Graco, M.; Rozas, A. & Aguirre-Velarde, A. 2022. Efecto del pH bajo sobre el crecimiento y las propiedades mecánicas de la concha del Perú vieira *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). *Marine Environmental Research*, 177: 1-10.
- García-Chevesich, P.; Pizarro, R.; Lehmann, C. & Martínez, G. (Eds.). 2021. *Estado actual de la gestión de sedimentos en nueve países de las Américas*. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. Iniciativa Internacional de Sedimentos. Documento Técnico #44. 130 p.
- Ibárcena, W. 2007. Estudio de la contaminación por metales pesados en las costas de Tacna-Perú. *Ciencia y Desarrollo*, 1: 113 -118.
- Karthikeyan, P.; Marigoudar, S. R.; Mohan, D.; Sharma, K. V. & Murthy, M. V. R. 2021. Prescribing sea water quality criteria for arsenic, cadmium and lead through species sensitivity distribution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208: 111612.
- Kolluru, R.; Bartell, S.; Pitblado, R. & Stricoff, R. 1998. *Manual de evaluación y administración de riesgos*. McGraw Hill. México.
- Kruzynski, G. M. 2004. Cadmium in oysters and scallops: the BC experience. *Toxicology Letters*, 148: 159-169.
- Lara, A.; Galván-Magaña, F.; Elorriaga-Verplancken, F. R.; Marmolejo-Rodríguez, A. J.; González-Armas, R.; Arreola-Mendoza, L.; Sujitha, S. B.; Jonathan, M. P. & Pantoja-Echevarría, L. M. 2022. Mercury, selenium and cadmium in juvenile blue (*Prionace glauca*) and smooth hammerhead (*Sphyrna zygaena*) sharks from the Northwest Mexican Pacific coast. *Marine Pollution Bulletin*, 175: 113311
- Loaiza, I.; De Boeck, G. & De Trocha, M. 2022. Peruvian marine ecosystems under metal contamination: First insights for marine species consumption and sustainable management. *Science of the Total Environment*, 826: 154132.
- Machovsky-Capuska, G. E.; Von Haeften, G.; Romero M.A.; Rodríguez D.H. & Gerpe M.E. 2020. Linking cadmium and mercury accumulation to nutritional intake in common dolphins (*Delphinus delphis*) from Patagonia, Argentina. *Environmental Pollution*, 263:1-8.
- Madueño, F. 2017. *Determinación de metales pesados (plomo y cadmio) en lechuga (Lactuca sativa) en mercados del Cono Norte, Centro y Cono Sur de Lima Metropolitana*. Tesis para título profesional de toxicólogo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Marín, G. & García, M. 2015. Contaminación por cadmio en alimentos marinos. *Ciencia e Investigación*, 19: 24-28.
- Metian, M.; Bustamante, P.; Cosson, R. P.; Hédouin, L. & Warnau, M. 2008. Investigation of Ag in the king scallop *Pecten maximus* using field and laboratory approaches. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 367: 53-60.

- Miglio, M.C. 2020. *Biomagnificación de metales en predadores de concha de abanico *Argopecten purpuratus*, en concesiones de acuicultura en bahía de Paracas*. [Tesis para Magister Scientiae, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Lima.
- MINAM. 2017. *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. D. S. 004-2017-MINAM. El Peruano. 7 jun:10-19.
- Moledo, D.; Abessa, S.; Ceci, E.; Moreira, P. & Tommasi, L. 1998. Consideracoes sobre o emprego da triade de qualidade de sedimento no estudo da contaminacao marinha. *Relatoria Tecnica Instituto Oceanografia*, 44:1-12.
- Pabón, S.E.; Benitez, R.; Sarria-Villa, R.A. & Gallo, J.A. 2020. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14: 9-18.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2010. *Análisis de flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe*. PNUMA. 216 p.
- Rebaza, R. 2016. *Evaluación de la contaminación por bioacumulación de cadmio, plomo y mercurio en moluscos bivalvos en la zona de amortiguamiento de la bahía de Sechura durante agosto a diciembre de 2015*. Tesis de Ingeniería Química, Universidad de Trujillo. 84 p.
- Reyes, S. R. 2019. *Toxicidad de los sedimentos marinos de las bahías Tortugas-Casma y Paracas sobre juveniles de *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) "concha de abanico"*. Tesis para Título Profesional de Bióloga, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Reyes, Y.C.; Vergara, I.; Torres, O.E.; Díaz-Lagos, M. & González, E.E. 2016. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16: 66-77.
- Romero-Murillo, P.; Espejo, W.; Barra, R. & Orrego. 2018. Embryo-larvae and juvenile toxicity of Pb and Cd in Northern Chilean scallop *Argopecten purpuratus*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190: 16.
- Samuel, M.; Datta, S; Sampat, R. & Selvarajan E. 2021. A state of the art review on characterization of heavy metal binding metallothioneins proteins and their widespread applications. *Science of the Total Environment*, 775: 1-7.
- Sánchez, G.; Orozco, R. & Jacinto, M. 1998. Estado de la Contaminación Marina en el Litoral Peruano en 1994 y 1995. *Informe Instituto del Mar del Perú*, 36:7-22.
- Sánchez, G. & Vera, G. 2001. *Manual introductorio de Ecotoxicología Acuática*. Informe Instituto del Mar Perú, 161:40 p.
- Sobrino-Figueroa, A.; Caceres-Martinez, C.; Botello, A. & Nuñez-Nogueira, G. 2007. Effect of cadmium, chromium, lead and metal mixtures on survival

- and growth of juveniles of the scallops *Argopecten ventricosus* (Sowerby II, 1842). *Journal of environmental Science and Health, Part A.* 42:1443-1447.
- Stewart, B. D.; Jenkins, S. R.; Boig, Ch.; Sinfield, C.; Kennington, K.; Brand, A. R.; Lart, W. & Kröger, R. 2021. Metal pollution as a potential threat to shell strength and survival in marine bivalves. *Science of the Total Environment*, 755: 143019.
- Swiacka, K.; Maculewicz, J.; Smolarz, K.; Szaniawska, A. & Caban, M. 2019. Mytilidae as model organisms in the marine ecotoxicology of pharmaceuticals - A review. *Environmental Pollution*, 254:1-16.
- Tam, J.; Vera, G.; Pinto E. & Melgar, R. 2000. Modelo de simulación de los efectos ecotoxicológicos del cadmio sobre el crecimiento de la microalga *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve. Informe Progresivo IMARPE, 132:1-12.
- Tlili, S. & Mouneyrac, C. 2021. New challenges of marine ecotoxicology in a global change context. *Marine Pollution Bulletin*, 166: 112242.
- Vera, G., Tam, J., Vera, V., & Pinto, E. 2001a. Pruebas ecotoxicológicas con cadmio y cromo usando postlarvas del pejerrey *Odontesthes (Austromeniidae) regia regia*. *Revista Peruana de Biología*, 8:125-135.
- Vera, G.; Tam, J.; Pinto, E. & Angulo, J. 2001b. Efectos del cadmio sobre el crecimiento poblacional de la diatomea marina *Chaetoceros gracilis* Schütt. *Revista Peruana de Biología*, 8:45-52.
- Vera, G. 2021. *Efectos ecotoxicológicos del cadmio sobre la mortalidad de la concha de abanico y riesgo ecológico en áreas de la costa peruana*. [Tesis Maestría Ecología y Gestión Ambiental. Universidad Ricardo Palma]. 86 p.
- Weber, C. I. 1993. *Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms*. EPA600/490027F. 293 p.
- Xu, K.; Wang, H. & Li, P. 2021. The cadmium toxicity in gills of *Mytilus coruscus* was accentuated by benzo (a)pyrene of higher dose but not lower dose. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C* 249: 109128.
- Yan, Z.; Wang, W.; Zhou, J.; Yi, X.; Zhang, J.; Wang, X. & Liu, Z. 2015. Screening of high phytotoxicity priority pollutants and their ecological risk assessment in China's surface waters. *Chemosphere*, 128: 28-35.
- Yu, D.; Peng, Z.; Wu, H.; Zhang, X.; Ji, Ch. & Peng, X. 2021. Stress responses in expressions of microRNAs in mussel *Mytilus galloprovincialis* exposed to cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 212: 111927.
- Zhang, Y.; Zhang, M.; Yu, W.; Li, J. & Kong, D. 2022. Ecotoxicological risk ranking of 19 metals in the lower Yangtze River of China based on their threats to aquatic wildlife. *Science of the Total Environment*, 812: 152370.

Received May 21, 2022.

Accepted September 5, 2022.