

Efecto del cadmio sobre la mortalidad de adultos de *Polydora* sp. (Polychaeta: Spionidae) en el laboratorio
Effect of cadmium on adult mortality of *Polydora* sp. (Polychaeta: Spionidae) under laboratory conditions

Melissa Herrera-Perez^{1,2}

Nuria Méndez³

1 Laboratorio de Ecotoxicología Acuática. Área Funcional de Investigaciones Marino Costeras (AFIMC) Dirección General de Investigaciones en Acuicultura (DGIA). Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Callao, Perú; imelissa.herrera.p@gmail.com

2 Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Ricardo Palma (URP). Santiago de Surco, Lima, Perú.

3 Unidad Académica Mazatlán. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 811, Mazatlán 82000, Sinaloa, México; nuri@ola.icmyl.unam.mx

Recibido 03-XII-2018

Corregido 25-V-2019

Aceptado 30-VI-2019

Abstract

Introduction: Several studies have demonstrated the effect of Cd on mortality and other physiological responses of some polychaete species. **Objective:** to evaluate the toxic effect of Cd on adults mortality of *Polydora* sp as a test species for ecotoxicological studies. **Methods:** The specimens were collected in the coastal wetland of Poza de la Arenilla, Callao, Peru. The organisms were acclimatized for two weeks with seawater and sediment and then, three days in seawater, with 30 ‰ of salinity and temperature between 20 to 22 °C. The organisms were exposed to the nominal concentrations 75, 11.25, 1.69, 0.25; 0.04 mg/L of Cd and a control. Three replicates of ten individuals per treatment were analyzed for 72 hours to register mortality. The Kruskal-Wallis and U-Man Whitney tests were applied to detect significant differences among treatments. **Results:** The adverse effect of Cd on mortality was much more evident in the treatments of 11.25 and 75 mg/L after the first 24 hours of exposure. The mean lethal concentration of Cd at 72h was 2.59 mg/L. **Conclusions:** the LC₅₀ is in the same order of magnitude as other polychaete species. This is the first ecotoxicological study in Peru using polychaetes under laboratory conditions. It is suggested the use of *Polydora* sp as a test species in ecotoxicology experiments, using nominal sublethal concentrations of Cd not exceeding 1.6 mg/L. for the observation of several physiological responses.

Key words: Ecotoxicology; polychaetes; heavy metal; LC₅₀; bioassays; test species; coastal wetland Poza de la Arenilla.

Resumen

Introducción: diversos estudios han demostrado el efecto del Cd sobre la mortalidad y otras respuestas fisiológicas de diversas especies de poliquetos. **Objetivo:** evaluar el efecto tóxico del

Cd en la mortalidad de adultos de *Polydora* sp. como especie prueba para estudios ecotoxicológicos. **Métodos:** los especímenes fueron recolectados en el humedal costero Poza de la Arenilla, Callao, Peru. Los organismos fueron aclimatados durante dos semanas con agua de mar y sedimento y posteriormente, tres días en agua de mar, con 30 ‰ de salinidad y temperatura entre 20 a 22 °C. Los organismos se expusieron a las concentraciones nominales 75, 11.25, 1.69, 0.25; 0.04 mg/L de Cd y un control. Se analizaron tres réplicas de diez individuos por tratamiento durante 72 horas para registrar mortalidad. Se aplicaron las pruebas de Kruskal-Wallis y de U-Man Whitney para detectar las diferencias significativas entre tratamientos. **Resultados:** el efecto adverso del Cd sobre la mortalidad fue mucho más evidente en los tratamientos de 11.25 y 75 mg/L a partir de las primeras 24 horas de exposición. La concentración letal media de Cd a 72h fue de 2.59 mg/L. **Conclusiones:** la CL₅₀ está en el mismo orden de magnitud de otras especies de poliquetos. Este es el primer estudio ecotoxicológico en Perú con poliquetos en condiciones de laboratorio. Se sugiere la utilización de *Polydora* sp. como especie prueba en experimentos de ecotoxicología, utilizando concentraciones nominales subletales de Cd que no superen los 1.6 mg/L para la observación de varias respuestas fisiológicas.

Palabras clave: Ecotoxicología; poliquetos; metales pesados; CL₅₀; bioensayos; especie prueba; humedal costero Poza de la Arenilla.

Introducción

La Poza La Arenilla (Malecón Pardo, distrito de La Punta, en la Provincia Constitucional del Callao, Perú) se caracteriza por ser un ecosistema marino artificial creado con dos rompeolas, lo que ocasiona que tenga escasa circulación del agua. Los dos canales de entrada y salida del agua interactúan con el agua de la bahía del Callao. En estas aguas desembocan los ríos Rímac y Chillón, así como efluentes domésticos e industriales, los cuales pueden acarrear diferentes residuos tóxicos o peligrosos (Sánchez, Orozco, & Guzmán, 2002; Correa, Tam, Pasapera, Saavedra, & Ingunza, 2008). Entre los residuos tóxicos depositados en ambientes acuáticos destacan los hidrocarburos de petróleo y metales tóxicos como cadmio, cobre, plomo y arsénico, como consecuencia de actividades antropogénicas (desarrollo industrial, agrícola y/o urbano) o de forma natural (lluvias, escorrentía de los ríos, erosión, etc.) (Fu-hong & Qi-xing, 2008) acumulándose en los sedimentos costeros, donde pueden alcanzar altas concentraciones (Ankley, Thomas, DiToro, Hansen, Mahony, Berry, Swartz, Hoke, Garrison, Allen, & Zarba, 1994). En estas áreas, los organismos bentónicos pueden acumular Cd a través del agua y, sobre todo, de partículas ingeridas (Selck, Forbes, & Forbes, 1998). Los niveles de Cd en el agua en ambientes marinos pueden fluctuar entre 0.005 ug L⁻¹ (Nürnberg, 1977) y 130 ug de L⁻¹ (Förstner & Wittmann, 1981). El Cd se encuentra como CdCl₂, siendo la salinidad un factor importante que puede modificar la actividad del ion libre del Cd (+2) y, por consiguiente, la biodisponibilidad, el metabolismo y toxicidad en los sistemas marinos (Jenkins & Sanders, 1986).

Los poliquetos (Clase Polychaeta, Phylum Annelida), son excelentes indicadores de perturbación ambiental (Tovar-Hernández, Salazar-Silva, de León-González, Carrera-Parra, & Salazar-Vallejo, 2014; Fernández-Rodríguez & Londoño-Mesa, 2015). Destaca la familia Spionidae (Grube, 1850) por su alta diversidad, por presentar un mayor número de especies descritas y por presentar una amplia distribución en sistemas bentónicos (Tomassetti & Porrello, 2005). Los miembros de *Polydora* (Bosc, 1802), son sedimentívoros (Blake & Woodwick, 1971; Fauchald & Jumars,

1979), y son considerados como indicadores de contaminación por materia orgánica (Dean, 2008) y metales traza, como el cadmio e hidrocarburos (Ajao & Fagade, 1990). Además, tienen ciclos de vida cortos y su mantenimiento y cultivo en el laboratorio son sencillos (Dean, 2008).

La toxicidad relativa de metales en poliquetos en orden decreciente es cobre, mercurio, zinc, arsénico, cromo y cadmio (Reish, 1988). Sin embargo, existen relativamente pocos estudios sobre el efecto del Cd en poliquetos. Reish & Carr (1978) demostraron que el efecto del Cd sobre la supervivencia, reproducción, desarrollo y ciclos de vida de los poliquetos *Ctenodrilus serratus* (Schmidt, 1857) y *Ophryotrocha diadema* Åkesson, 1976, es mínimo en comparación con otros metales pesados como el cobre y mercurio. Los miembros de varias especies crípticas del complejo de *Capitella capitata* han sido objeto de estudio del efecto del Cd en varias respuestas fisiológicas. Los estudios pioneros demostraron que el Cd disuelto en agua es uno de los metales pesados menos dañinos para la supervivencia de *Capitella* spp. (Reish, Martin, Piltz, & Word, 1976; Reish & Le May, 1991). Estudios más recientes han demostrado la ausencia de efectos significativos del Cd incorporado en agua y sedimentos sobre las tasas de crecimiento, tasa de egestión y alometría de *Capitella* sp I (Selck et al., 1998; Selck, Decho, & Forbes, 1999), mortalidad, producción de heces fecales y masa corporal de *Capitella* sp. I y *Capitella* sp. B (Méndez & Baird, 2002) y mortalidad de juveniles de *Capitella* sp. Y (Méndez & Green-Ruiz, 2005). Sin embargo, el estudio de Méndez & Green-Ruiz (2006), demostró efectos del Cd sobre la mortalidad y metamorfosis de larvas de *Capitella* sp. Y.

A pesar de la relativamente baja toxicidad del Cd observada en algunos poliquetos, se espera que el elemento cadmio tenga efecto sobre la mortalidad de otras especies de poliquetos no estudiadas, demostrando así el impacto que este elemento puede tener en los ecosistemas naturales. Por otro lado, este estudio aportará nuevos conocimientos, debido a que los únicos trabajos de poliquetos en el Perú se restringen a estudios ecológicos y de diversidad, siendo el grupo menos estudiado en comparación con otros invertebrados bentónicos como moluscos, crustáceos y equinodermos, entre otros (Aguirre & Canales, 2017; Vera, Tam, Vera, & Pinto, 2001).

Por lo tanto, en este trabajo se pretende evaluar el efecto tóxico del Cd sobre la mortalidad de adultos de *Polydora* sp, el cual puede ser un buen candidato como especie prueba en futuros estudios ecotoxicológicos.

Materiales y métodos

El ensayo sobre el efecto del Cd en la mortalidad adultos de *Polydora* sp. se realizó durante la época de verano, entre diciembre del 2016 a marzo del 2017 en el Laboratorio de Ecotoxicología Acuática, Área Funcional de Investigaciones Marino Costeras (AFIMC) de la Dirección General de Investigaciones en Acuicultura (DGIA) del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú. Individuos adultos de *Polydora* sp. (entre 5 y 5.3 cm de longitud, con 20 a 25 segmentos) se recolectaron en diciembre de 2016 en la zona intermareal del humedal Poza de la Arenilla, Malecón Pardo, distrito de La Punta, Callao (12°04'24.1" S - 77°09'38.2" W). Los sedimentos en esta zona son predominantemente fangosos con contenidos de materia orgánica entre 2.53 y 22.8 % (Velasco & Solís, 2013). El estudio de Sánchez, Flores, & Henostroza (2014) reveló concentraciones de Cd en sedimento entre 0.14 y 1.08 µg/g con valor medio de 0.68 µg/g. En general el 100 % de los valores registrados no superaron el Nivel Probable de Efecto estipulado en la Tabla de Protección Costera de EE UU (4.21 µg/g).

El sedimento superficial (15 cm de profundidad) se recolectó con una espátula de aluminio y se tamizó con una malla de 500 μm . El material biológico retenido en el tamiz se colocó en envases de plástico de 500 ml con agua de mar para su traslado al laboratorio. La temperatura superficial del agua de mar fue de 32 °C y la salinidad de 29.6 ups, obtenidas con un equipo multiparamétrico portátil (Hach HQ40D). Estas mediciones fueron importantes para mantener condiciones similares en el laboratorio.

En el laboratorio, los especímenes fueron identificados utilizando un microscopio estereoscopio (Olympus SZ-61 ILST 1K36156). El género *Polydora*, junto con otros cinco géneros de la familia Spionidae, forma parte del complejo de especies de *Polydora*. El género *Polydora* se caracteriza por la presencia de setas modificadas en el setífero cinco (con espinas grandes de un solo tipo dispuestas en una sola hilera curvada, con setas de acompañamiento delgadas) y branquias a partir del setífero seis a 11. El setífero uno carece de notosetas. Los ganchos cubiertos neuropodiales son bidentados a partir de los setíferos siete al 14. El prostomio puede ser entero o con incisión y se extiende posteriormente como carúncula, la cual está rodeada de órganos nucales. La forma del pigidio es variable (Blake & Woodwick, 1971; Delgado-Blas, 2008).

Para el mantenimiento de los especímenes en el laboratorio se acondicionaron mesas de enfriamiento reguladas a 20 °C. Se utilizaron: i) Dos vasos de precipitados de 1 L de capacidad y en cada uno se colocó una capa de 2 a 4 cm de sedimento experimental (Linke-Gamenick, Forbes, & Méndez, 2000; Méndez, 2005, 2006a,b); ii) 500 ml de agua de mar filtrada (< 1 μm) con salinidad de 30 ups; iii) se colocaron 150 individuos en cada vaso. El periodo de aclimatación a las condiciones de laboratorio duró dos semanas (Kenny, 1969). Para ello, los individuos adultos de *Polydora* sp se colocaron en envases de plástico de 1 L de capacidad con sedimento experimental y aireación constante durante dos semanas. Durante este periodo los organismos se alimentaron mediante la adición semanal de 0.5 g de alimento artificial seco que consistía en una mezcla, a partes iguales, de espinaca y comida para peces (Méndez, 2006a,b). Posteriormente, permanecieron tres días en agua de mar sin sustrato (Gopalakrishnan, Thilagam, & Raja, 2007).

El sedimento experimental utilizado para la aclimatación de los especímenes se recolectó en el área de estudio, simultáneamente con las muestras biológicas, se secó en estufa a 80 °C durante 24 h (To-orn & Paphavasit, 2017) y se tamizó a través de una malla de 250 μm para utilizar la parte menor de esta fracción (Méndez, Lacorte, & Barata, 2013), la cual corresponde a arena fina (Folk, 1965).

Diseño experimental: Se eligió el Cd con fines comparativos con otros poliquetos. Debido a la escasez de datos en la literatura sobre concentraciones subletales de Cd en solución para experimentos con poliquetos, se consideró la concentración mínima utilizada por Méndez & Green-Ruiz (2006) con larvas de *Capitella* sp Y (0.035 mg/L) y, como concentración máxima, se consideró la CL₅₀ a 96 horas de 75 mg/L registrada para el poliqueto *Eurythoe complanata* por Reish, Asato, & LeMay (1989). Con el fin de determinar las concentraciones nominales de Cd, se analizó un intervalo de cinco concentraciones de manera logarítmica, a fin de obtener un amplio intervalo de concentraciones, considerando estos valores máximo y mínimo. La ventaja de la escala logarítmica es que permite analizar los impactos en las tasas de mortalidad en función de diversos órdenes de magnitud en el cambio de la concentración. La concentración mayor (75 mg/L), se multiplicó por el factor de 0.15 (Yacomelo, 2014) y las multiplicaciones sucesivas por este factor permitieron calcular las cuatro concentraciones restantes. Así, las concentraciones nominales para el experimento fueron 75, 11.25, 1.69, 0.25; 0.04 mg/L y un control.

La preparación de las cinco concentraciones se realizó por separado mediante la dilución de diferentes cantidades CdCl_2 (tóxico de referencia considerado por Ingersoll et al. (1994)) en 3L agua de mar filtrada ($<1 \mu\text{m}$), con 30 a 32 ups, 20 a 21 °C y 8 a 9 mg/L de oxígeno disuelto. Para la preparación del tratamiento de 75 mg/L, se diluyeron 225 mg de CdCl_2 , para el segundo tratamiento se utilizaron 33.75 mg de CdCl_2 , y así sucesivamente, para el resto de las concentraciones.

Durante el bioensayo, se colocaron diez individuos adultos en 1 L de solución de Cd con las diferentes concentraciones (y 1L de agua de mar para los controles) y se realizaron tres réplicas por tratamiento. El experimento tuvo una duración de 72 horas, durante el cual no se colocó sedimento ni se administró alimento artificial a los especímenes para evitar la posible interacción con las soluciones de Cd. Los especímenes fueron contados cada 24 horas utilizando un microscopio estereoscópico, a fin de determinar su supervivencia.

Análisis Estadístico de los datos: El porcentaje de mortalidad para cada réplica se determinó de acuerdo con la expresión propuesta por Horng, Wang, & Cheng (2009):

$$S = (n_f/n_i) * 100,$$

Donde:

n_f = número final de individuos vivos

n_i = número inicial de individuos vivos

S = % de supervivencia

Los datos de supervivencia fueron expresados como porcentaje de mortalidad, los cuales fueron utilizados para el cálculo de la CL_{50} , mediante el programa Probit (USEPA) en SPSS ver. 2.1, a fin de determinar la concentración letal media (CL_{50}).

Debido a que los datos no eran normales (prueba de Kolmogorov-Smirnov), se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para observar si existen diferencias significativas entre los tratamientos. Posteriormente, se realizó la prueba de U-Mann Whitney para detectar las diferencias entre pares de tratamientos. Para ambas pruebas se utilizó el programa SPSS ver. 2.1.

Resultados

La tabla 1 muestra los resultados de mortalidad registrados durante los tres días que duró el bioensayo. La supervivencia disminuyó al aumentar la concentración de Cd y el efecto negativo del Cd fue mucho más evidente en los tratamientos 11.25 y 75 mg/L. En ambos tratamientos, el efecto del tiempo de exposición fue más evidente a partir de las 24 horas experimentales, mientras que la mortalidad en los tratamientos con menores concentraciones de Cd fue evidente a partir del segundo día de exposición. Estos resultados fueron confirmados con la prueba de Kruskal-Wallis que mostró diferencias entre los tratamientos ($\text{Chi cuadrado} = 10.536$; $g1 = 4$; $p = 0.032$) y la prueba de U-Mann Whitney en la que los tratamientos 11.25 y 75 mg/L presentaron diferencias con los tres tratamientos restantes. El control presentó diferencias con todos los tratamientos de Cd. La CL_{50} de Cd durante 72h fue de 2.59 mg/L, con límite superior de 16.39 mg/L y límite inferior de 1.37 mg/L (Fig. 1).

Tabla 1

Mortalidad (%) registrada durante el bioensayo sobre adultos de *Polydora*

Table 1

Mortality (%) registered during the bioassay on adults of *Polydora*

Tiempo	Réplicas	Control	0.04 mg/L	0.25 mg/L	1.6 mg/L	11.25 mg/L	75 mg/L
24 horas	R1	0	0	0	0	0	0
	R2	0	0	0	0	0	0
	R3	0	0	0	0	0	0
48 horas	R1	0	0	0	0	100	100
	R2	0	20	0	0	100	100
	R3	0	0	0	0	100	100
72 horas	R1	0	10	10	40	100	100
	R2	0	30	100	0	100	100
	R3	0	0	20	30	100	100

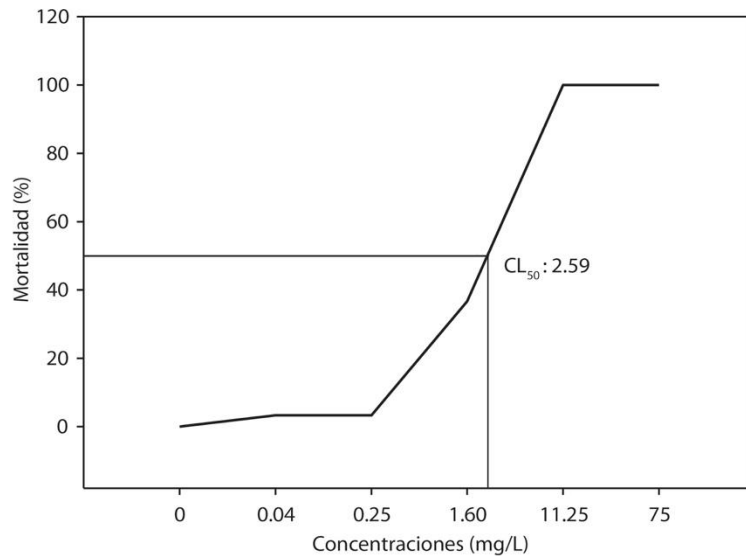


Fig. 1. Concentración letal media (CL₅₀) a 72h durante el bioensayo sobre adultos de *Polydora*.

Fig. 1. Median lethal dose (LC₅₀) at 72h during the bioassay on adults of *Polydora*.

La mortalidad fue comprobada al estimular a los organismos con una varilla de vidrio y observar la carencia de movimiento. Los síntomas de mortalidad fueron más evidentes en los tratamientos 11.25 y 75 mg/L, ya que los organismos disminuyeron su movilidad paulatinamente hasta la muerte. Asimismo, tendían a agruparse y a formar tubos de sedimento. La mayoría de los especímenes de estos tratamientos cambiaron su coloración de rojiza a verde y algunos organismos presentaron pequeñas carnosidades en los setígeros.

Discusión

En la actualidad únicamente existen dos estudios de impacto ambiental en el área de estudio. Troll (2000), realizó una evaluación y ordenamiento ambiental para el establecimiento de un área protegida en la Poza de La Arenilla, mediante cuatro puntos de monitoreo de agua. Estos resultados fueron comparados con los estándares de calidad ambiental correspondientes y concluyó que las concentraciones de Cd en todos los puntos fueron inferiores a 0.001 mg/L, lo que indica que estos valores se encuentran muy por debajo de la cuantificación del método del laboratorio. Estos resultados coinciden con los registros de Sánchez et al. (2014) en el estudio de calidad ambiental del humedal Poza La Arenilla-Callao en 2008, en el cual los valores de Cd estuvieron por debajo del límite de detección del equipo, lo que explica la supervivencia de *Polydora* sp. en ese ambiente. Dada la escasez de estudios ecotoxicológicos con poliquetos, los datos de referencia de concentraciones de Cd experimentales son escasos, por lo que nuestras concentraciones nominales fueron calculadas en base a las escalas de otras especies de poliquetos registradas por Reish et al (1989) y Méndez & Green-Ruiz (2006). Los valores de mortalidad mostraron que el intervalo de concentraciones nominales elegido en este estudio preliminar superó los valores de concentraciones subletales, ya que en las concentraciones 11.25 y 75 mg/L murieron todos los organismos durante las primeras 24 horas. Por el contrario, los resultados de mortalidad en los tratamientos menores a 0.25 mg/L están en el mismo orden de magnitud que las concentraciones utilizadas por Selck et al (1998, 1999) y por Méndez & Green-Ruiz (2005, 2006) con *Capitella* sp. I y *Capitella* sp. Y, respectivamente. Estos resultados sugieren que para futuros estudios en los que se analicen otras respuestas de este organismo se deberían utilizar concentraciones subletales de Cd menores a 1.6 mg/L, ya que en este tratamiento se observó mortalidad después de dos días. Idealmente, deberían realizarse más estudios preliminares detallados utilizando concentraciones bajas entre 0.04 y 1.6 mg/L, de preferencia con individuos identificados a nivel de especie (ya que las respuestas podrían verse enmascaradas a niveles taxonómicos superiores).

La comparación de la CL₅₀ con otros poliquetos expuestos a Cd en solución (procedentes de cultivos realizados en Los Ángeles, EE UU) muestra que el valor obtenido con *Polydora* sp. durante 72 horas (2.59 mg/L) está en el mismo orden de magnitud que los valores registrados para adultos de *Capitella capitata* (Fabricius, 1780) (2.8 mg/L) y *Pectinaria californiensis* Hartman, 1941 (2.6 mg/L) (Reish & Le May, 1991) y de *Neosabellaria clandestinus* (Menon & Sareen, 1966) (2.8 mg/L; como *Sabellaria clandestinus* en Mohan, Menon, & Gupta, 1984) en sus experimentos de 96 horas de exposición. Estos valores resultaron menores que los de los poliquetos *Neanthes arenaceodentata* (14.1 mg/L) *Nereis grubei* (4.7 mg/L) y *Ophryotrocha labronica* Bacci & La Greca, 1961 (3.7 mg/L), de los mismos autores, así como los de *C serratus* y *O diadema* (10 mg/L) de Reish & Carr (1978). Estas comparaciones indican que los adultos de *Polydora* sp. presentan mayor sensibilidad al Cd que otras especies, ya que existe mortalidad en menores concentraciones de Cd, lo que la señala como una buena especie de prueba para futuros estudios de ecotoxicología. Por el contrario, la CL₅₀ de *Polydora* sp. resultó mayor que la obtenida para larvas trocóforas de *C. capitata* durante 96 horas (0.22 mg/L; Reish et al., 1976) y para larvas metatrocóforas de *Capitella* sp. Y procedentes de Mazatlán, México (0.035 mg/L, Méndez & Green-Ruiz, 2006) en un periodo de 10 días. Esto sugiere que dentro del grupo de los poliquetos, el Cd tiene un impacto mayor en estados larvarios, ya que la mortalidad ocurre a menores concentraciones que en los adultos.

De acuerdo con Delgado-Blas (2009), los miembros de la familia Spionidae, en el medio natural, tienen la capacidad de cambiar su patrón de consumidores de depósito a suspensívoros. Esto podría explicar el éxito del experimento, ya que los controles sobrevivieron sin sedimento durante los tres días experimentales, lo que indica que probablemente cambiaron el patrón de alimentación para sobrevivir, mientras que los organismos expuestos recibieron el efecto adverso del Cd provocándoles la muerte. Estos resultados concuerdan con las características establecidas por Reish (1980) sobre el valor de los poliquetos en estudios de laboratorio (relativamente fácil recolección, manipulación, cultivo y transporte y ciclos de vida relativamente cortos). Nuestros resultados apoyan la sugerencia de utilizar *Polydora* spp. como otra especie prueba dentro del grupo de los poliquetos, en experimentos de ecotoxicología en ecosistemas marino-costeros en Perú o en otras localidades. Además, se podrán sentar las bases para realizar estudios ecotoxicológicos y fisiológicos con otros géneros de poliquetos frente a otros tóxicos, así como estudios de bioacumulación y biomarcadores enzimáticos o moleculares incentivando mayor interés de estudio sobre la clase Polychaeta.

Los estudios ecotoxicológicos son importantes, ya que permiten identificar problemas ambientales, establecer controles de contaminación, establecer límites, identificar apropiadamente acciones correctivas y monitorear los efectos de efluentes contaminados (Wall & Hanmer, 1987; Fent, 2003). La presente investigación preliminar constituye el primer estudio ecotoxicológico en Perú con el grupo Polychaeta en condiciones de laboratorio. Este estudio puede contribuir a sentar las bases para futuros estudios de ecotoxicología, monitoreo biológico y calidad ambiental utilizando el complejo de especies de *Polydora*, así como otros géneros de la familia Spionidae.

Declaración de ética: los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

Agradecimientos

Se agradece a Christian Paredes, Laboratorio de Ecotoxicología Acuática, del Instituto del Mar del Perú (IMARPE).

Referencias

Aguirre, L., & Canales, R. (2017). Poliquetos de Perú: estado actual y perspectivas para la investigación. En O. Díaz-Díaz, D. Bone, C. T. Rodríguez & V. H. Delgado-Blas (Eds.). *Poliquetos de Sudamérica* (pp. 101-114). Cumaná, Venezuela: Volumen especial del Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela.

Ajao, E. A., & Fagade, S. O. (1990). A Study of the sediments and communities in Lagos Lagoon, Nigeria. *Oil & Chemical Pollution*, 7, 85-117.

Ankley, G. T., Thomas, N. A., DiToro, D. M., Hansen, D. J., Mahony, J. D., Berry, W. J., ... Zarba, C. S. (1994). Assessing potential bioavailability of metals in sediments: a proposed approach. *Environmental Management*, 18, 331-337.

- Blake J. A., & Woodwick, K. H. (1971). New species of *Polydora* (Polychaeta: Spionidae) from the Coast of California. *Bulletin of the South California Academy of Sciences*, 70(2), 72-79.
- Correa, D., Tam, J., Pasapera, J., Saavedra, M. & Ingunza, A. (2008). Modelado de la circulación marina y descargas hipotéticas en la bahía del Callao, Perú. *Informe IMARPE*, 35(3), 181-192.
- Dean, H. K. (2008). The use of polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution: a review. *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 11-38.
- Delgado-Blas, V. H. (2008). *Polydora* and related genera (Polychaeta: Spionidae) from the Grand Caribbean region. *Journal of Natural History*, 42(1-2), 1-19.
- Delgado-Blas, V. H.. (2009). Spionidae Grube, 1850. En J. A. de León-González, R. Bastida-Zavala, L. F. Carrera-Parra, P. Hernández-Alcántara, S. I. Salazar-Vallejo, V. Solís-Weiss (Eds.). *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América Tropical* (pp. 586-614). Monterrey, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Fauchald, K., & Jumars, P. A. (1979). The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology. An Annual Review*, 17, 193-284.
- Fent, K. (2003). Ecotoxicological problems associated with contaminated sites. *Toxicological Letters*, 140-141, 353-365.
- Fernández-Rodríguez, V., & Londoño-Mesa, M. (2015). Poliquetos (Annelida: Polychaeta) como indicadores biológicos de contaminación marina: casos en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 18, 189-204.
- Folk, R.L. (1965). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, USA: Hemphills Publications Company.
- Förstner, U., & Wittmann, G. T. W. (1981). *Metal pollution in the aquatic environment. Second revision*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Fu-hong, S., & Qi-xing, Z. (2008). Oxidative stress biomarkers of the polychaete *Nereis diversicolor* exposed to cadmium and petroleum hydrocarbons. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70, 106-114.
- Gopalakrishnan, S., Thilagam, H., & Raja, P. V. (2007). Toxicity of heavy metals on embryogenesis and larvae of the marine sedentary polychaete *Hydroides elegans*. *Archives of Environmental and Contamination Toxicology*, 52, 171-178.
- Horng, C. Y., Wang, S. L., & Cheng, I. J. (2009). Effects of sediment-bound Cd, Pb, and Ni on the growth, feeding, and survival of *Capitella* sp. I. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 371, 68-76.
- Ingersoll, C. G., Ankley, G., Burton Jr, G. A., Dwyer, F. J., Hoke, R., Norberg-King, T., ... Winger, P. V. (1994). *Methods for Measuring the Toxicity and Bioaccumulation of Sediment-Associated Contaminants With Freshwater Invertebrates*. Washington D. C., USA: US Environmental Protection Agency.

- Jenkins, K. D., & Sanders, B. M. (1986). Relationships between Free Cadmium Ion Activity in Seawater, Cadmium Accumulation and Subcellular Distribution and Growth in Polychaetes. *Environmental Health Perspectives*, 65, 205-210.
- Kenny, R. (1969). Temperature tolerance of the polychaete worms *Diopatra cuprea* and *Clymenella torquata*. *Marine Biology*, 4, 219-223.
- Linke-Gamenick, I., Forbes, V. E., & Méndez, N. (2000). Effects of chronic fluoranthene exposure on sibling species of *Capitella* with different development modes. *Marine Ecology Progress Series*, 203, 191-203.
- Méndez, N., & Baird, D. J. (2002). Effects of cadmium on sediment processing in members of the *Capitella* species-complex. *Environmental Pollution*, 120, 299-305.
- Méndez, N. (2005). Effects of teflubenzuron on larvae and juveniles of the polychaete *Capitella* sp B from Barcelona, Spain. *Water, Air, and Soil Pollution*, 160, 259-269.
- Méndez, N. (2006a). Effects of teflubenzuron on sediment processing by members of the *Capitella* species-complex. *Environmental Pollution*, 139, 118-124.
- Méndez, N. (2006b). Life cycle of *Capitella* sp. Y (Polychaeta: Capitellidae) from Estero del Yugo, Mazatlan, Mexico. *Journal of the Marine Biology Association of the United Kingdom*, 86, 263-269.
- Méndez, N., & Green-Ruiz, C. (2005). Preliminary observations of cadmium and copper effects on juveniles of the polychaete *Capitella* sp Y from Estero del Yugo, Mazatlan, Mexico. *Revista Chilena de Historia Natural*, 78, 701-710.
- Méndez, N., & Green-Ruiz, C. (2006). Cadmium and copper effects on larval development and mortality of the polychaete *Capitella* sp Y from Estero del Yugo, Mazatlan, Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*, 171, 291-299.
- Méndez, N., Lacorte, S., & Barata, C. (2013). Effects of the pharmaceutical fluoxetine in spiked-sediments on feeding activity and growth of the polychaete *Capitella teleta*. *Marine Environmental Research*, 89, 76-82.
- Mohan, C. V., Menon, N. R., & Gupta, T. R. C. (1984). Acute toxicity of cadmium to 6 intertidal invertebrates. *Fishery Technology*, 21, 1-5.
- Nürnberg, H. W. (1977) Potentialities and applications of advanced polarographic and voltammetric methods in environmental research and surveillance of toxic metals. *Electrochimica Acta*, 22, 935-949.
- Reish, J. D. (1980). Use of Polychaetous Annelids as test organisms for marine bioassay experiments. En A. L. Jr. Buikema & J. Cairns Jr. (Eds). *Aquatic Invertebrate bioassays* (pp. 140-154). Philadelphia, USA: ASTM STP 715. American Society for Testing and Materials.
- Reish, J. D. (1988) The use of toxicity testing in marine environmental research. En D. F. Soule, & G. S. Kleppel (Eds.), *Marine organisms as indicators* (pp. 231-245). New York, USA: Springer-Verlag.

- Reish, D. J., Asato, S. L., & LeMay, J. A. (1989). The effects of cadmium and DDT on the survival and regeneration in the amphinomidae polychaete *Eurythoe complanata*. En *VII Simposio Internacional de Biología Marina* (pp. 107-111). La Paz, México: Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Reish, D. J., & Carr, R. S. (1978). The effect of heavy metals on the survival, reproduction, development, and life cycles of two species of polychaetous annelids. *Marine Pollution Bulletin*, 9, 24-27.
- Reish, J. D., & LeMay, J. A. (1991). Toxicity and bioconcentration of metals and organic compounds by polychaeta. *Ophelia Supplement*, 5, 653-660.
- Reish, D. J., Martin, J. M., Piltz, F. M., & Word, J. Q. (1976). The effect of heavy metals on laboratory populations of two polychaetes with comparisons to the water quality conditions and standards in Southern California marine waters. *Water Research*, 10, 299-302.
- Sánchez, R. G., Orozco, R., & Guzmán, M. (2002). Bahía del Callao, Perú. Evaluación ambiental en marzo 2002. *Informe Instituto del Mar del Perú*, 35, 27-41.
- Sánchez, R. G., Flores, V., & Henostroza, A. (2014). Calidad Ambiental del Humedal Poza La Arenilla-Callao. *Informe Instituto del Mar del Perú*, 41(1-4), 202-214.
- Selck, H., Forbes, V. E., & Forbes, T. L. (1998). Toxicity and toxicokinetics of cadmium in *Capitella* sp. I: relative importance of water and sediment as routes of cadmium uptake. *Marine Ecology Progress Series*, 164, 167-178.
- Selck, H., Decho, A. W., & Forbes, V. E. (1999). Effects of chronic metal exposure and sediment organic matter on digestive absorption efficiency of cadmium by the deposit-feeding polychaete *Capitella* species I. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 18(6), 1289-1297.
- To-orn, N., & Paphavasit, N. (2017). Bioremediation of organically enriched sediment under green mussel rafts using Spionids Genus *Prionospio* (Polychaeta: Spionidae). *EnvironmentAsia*, 10(1), 17-24.
- Tomassetti, P., & Porrello, S. (2005). Polychaetes as indicators of marine fish farm organic enrichment. *Aquaculture International*, 13, 109-128.
- Tovar-Hernández, M. A., Salazar-Silva, P., de León-González, J. A., Carrera-Parra, L. F., & Salazar-Vallejo, S. I. (2014). Biodiversidad de Polychaeta (Annelida) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 190-196.
- Troll, J. L. (2000). *Evaluación y ordenamiento ambiental para el establecimiento de un área protegida en la poza de La Arenilla, La Punta, Callao* (Tesis de Licenciatura). Perú: Universidad Particular Ricardo Palma.
- Velazco, C. F. J., & Solís, A. J. (2013). Caracterización de los sedimentos de la Poza La Arenilla-Callao, marzo 2004. *Informe Técnico del Instituto del Mar del Perú*, 40 (3-4), 146-149.
- Vera, G., Tam, J., Vera, V., & Pinto, E. (2001). Pruebas ecotoxicológicas con Cadmio y Cromo usando postlarvas de Pejerrey *Odontesthes* (Austromeniidae) *regia regia* Hildebrand. *Revista Peruana de Biología*, 8(2), 125-135.

Wall, T. M., & Hanmer, R. W. (1987). Biological Testing to Control Toxic Water Pollutants. *Water Environmental research*, 59(1), 7-12.

Yacomelo, H. M. J. (2014). *Riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos y vegetales, con posibles concentraciones de metales pesados, en el Sur del Atlántico, Colombia* (Tesis de Maestría). Medellín, Colombia: Universidad de Colombia.