

Estado de la publicación: El preprint ha sido publicado como artículo en una revista
DOI del artículo publicado: <http://rev.aetox.es/wp/wp-content/uploads/2021/12/vol-38.2-12-17.pdf>

Bioacumulación de metales pesados en *Donax obesulus* del litoral de Lambayeque, Perú

Roger Manay, Jorge Fupuy-Chung, Sebastian Iglesias-Osores, Jorge Chanamé-Céspedes

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.828>

Enviado en: 2020-06-22

Postado en: 2020-06-25 (versión 1)

(AAAA-MM-DD)

Bioacumulación de metales pesados en *Donax obesulus* del litoral de Lambayeque, Perú

Bioaccumulation of heavy metals in *Donax obesulus* from the Lambayeque littoral, Peru

Roger Manay¹, Jorge Fupuy-Chung², Sebastian Iglesias-Osores³, Jorge Chanamé-Céspedes⁴

1. CIDIS, LID, Facultad de Ciencias y Filosofía, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Av. Honorio Delgado 430, Urb. Ingeniería, San Martín de Porres, Lima, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3645-5547>
2. Departamento académico de Zoología y Pesquería, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Ciudad Universitaria, Lambayeque, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2007-1490>
3. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Calle Juan XXIII, Lambayeque, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4984-4656>
4. Departamento académico de Zoología y Pesquería, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Ciudad Universitaria, Lambayeque, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3542-0104>

Autor correspondiente: Sebastián Iglesias-Osores, email: sebasiglo@gmail.com, siglesias@unprg.edu.pe

Contribuciones de los autores: RM fue responsable de la concepción del estudio. RM recolectó los datos. RM, JF y JC contribuyeron al análisis de los datos. RM y SI escribieron el borrador inicial con todos los autores proporcionando comentarios críticos y ediciones para revisiones posteriores. Todos los autores aprobaron el borrador final del manuscrito. Todos los autores son responsables de todos los aspectos del trabajo para garantizar que las preguntas relacionadas con la precisión o integridad de cualquier parte del trabajo se investiguen y resuelvan adecuadamente.

Declaración de intereses: Todos los demás autores declaran no tener intereses en competencia.

Fuentes de financiamiento: Autofinanciado.

RESUMEN

Donax obesulus es un bivalvo ampliamente extraído y consumido por la población local del litoral de la región Lambayeque, Perú. El ambiente costero-marino donde habita *D. obesulus* se encuentra alterado a causa de las actividades agrícola-industriales, pobre tratamiento de aguas servidas, entre otros. Esto permite la presencia de contaminantes como metales pesados (cadmio, cobre y plomo). Los objetivos de esta investigación fueron cuantificar y evaluar las concentraciones de cobre, plomo y cadmio en tejidos comestibles de *D. obesulus*. Se recolectaron muestras de *D. obesulus* en tres playas del litoral de Lambayeque (de sur a norte: Lagunas, San José y El Gigante) entre los meses de mayo y julio del 2013. Las muestras se sometieron a un ensayo toxicológico por espectrometría de emisión óptica (OES) de plasma acoplado inductivamente (ICP). Los resultados demostraron que el cobre presentó una clara tendencia acumulativa en *D. obesulus* con mayor concentración en la playa San José en julio ($10,1 \mu\text{g g}^{-1}$). En contraste, las concentraciones de plomo ($>0,3 \mu\text{g g}^{-1}$) y cadmio ($>0,2 \mu\text{g g}^{-1}$) fueron exiguas en todas las áreas de muestreo durante todo el tiempo que abarcó la investigación. Estos resultados podrían sugerir que la bioacumulación de cobre, plomo y cadmio en *D. obesulus* implicaría la seguridad alimentaria de sus consumidores.

Palabras clave: *Donax obesulus*, bioacumulación, biomonitores, metales pesados.

ABSTRACT

Donax obesulus is a bivalve widely mined and consumed by the local coastal population of the Lambayeque region, Peru. The coastal-marine environment where *Donax obesulus* lives present anthropogenic disturbances, including pollutants such as heavy metals (cadmium, copper, and lead). The objectives of this investigation were to quantify and evaluate the concentrations of copper, lead, and cadmium in edible tissues of *Donax obesulus*. *Donax obesulus* samples were collected from three beaches on the Lambayeque coast (from south to north: Lagunas, San José, and El Gigante) between May and July 2013. The samples were subjected to a toxicological test by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (OES) (ICP). The results showed that copper presented a clear cumulative trend in *Donax obesulus* with the highest concentration at San José beach in July ($10.1 \mu\text{g g}^{-1}$). In contrast, the concentrations of lead ($> 0.3 \mu\text{g g}^{-1}$) and cadmium ($> 0.2 \mu\text{g g}^{-1}$) were meager in all the sampling areas throughout the time the investigation covered. Bioaccumulation of copper, lead, and cadmium founded in *Donax obesulus* might vulnerate the food safety of its consumers.

Keywords: *Donax obesulus*, bioaccumulation, heavy metals, copper, cadmium, lead.

INTRODUCCIÓN

A nivel global son muchos los países industrializados, así como los que se encuentran en vías de serlo, quienes no manejan adecuadamente sus desechos o descartes. Este hecho se refleja en la creciente descarga de los efluentes industriales y urbanos hacia los mares y ríos (Samanta & Dalai, 2018). Gran diversidad de contaminantes terminan en el ambiente sin que puedan auto depurarse o ser inocuos para la vida silvestre, ocasionando desde problemas ecológicos hasta sanitarios (Liu et al., 2019). Uno de los mayores problemas de la contaminación acuática está causada por metales pesados, dado que tales contaminantes son asimilados pasivamente por distintos organismos durante su alimentación (Goretti et al., 2016). El impacto de los metales pesados en el medio ambiente es un problema grave y creciente en todo el mundo (Kumar et al., 2019).

El género bivalvo de moluscos *Donax* se distribuye en altas concentraciones, alineadas verticalmente en la arena en playas expuestas, en costas tropicales y templadas de todo el mundo, tal es el caso del litoral norte de Perú (Warner et al., 2016, 2019). Estos bivalvos asimilan metales pesados durante la filtración de sus alimentos, dando paso a su bioacumulando y posterior biomagnificación en la cadena trófica (Shahsavani et al., 2017). Procesos de depuración en Bivalvos sirven para eliminar microorganismos, mas no para eliminar agentes químicos tóxicos (Anacleto et al., 2015). Dentro del conjunto de metales pesados, el cadmio es un elemento traza no esencial tóxico a bajas concentraciones para los organismos acuáticos (Merad et al., 2018), mientras que el cobre, en su forma oxidada induce genotoxicidad en los bivalvos (Chelomin et al., 2017). Actualmente, algunos bivalvos marinos son considerados como potenciales herramientas de biocontrol precisas, capaces de monitorear metales pesados como el plomo biodisponible a lo largo de las costas (Cariou et al., 2017), EL cadmio uno de los principales acidificantes del oceano se bioacumula en bivalvos, hasta ahora su funcion no esta muy bien estudio en estos seres marinos (Shi et al., 2016). Convirtiéndolos además de fuente de alimentos en un método útil para conocer el estado de salud de un ecosistema costero-marino. La trascendencia de conocer la concentración de metales pesados en los moluscos no solo estriba en la posibilidad de poder comercializarlos bajo un estándar de control y seguridad alimentaria, ya que existe una importante población que dependen de estos recursos (Shahsavani et al., 2017), sino también por su potencial uso como biomonitores. Los objetivos de esta investigación fueron evaluar las concentraciones de cobre, plomo y cadmio en tejidos comestibles de *D. obesulus* (Bivalvia: Donacidae) provenientes del litoral de la Región Lambayeque, bajo el ámbito de la seguridad alimentaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio descriptivo de corte transversal, cuya población la constituyeron adultos de *D. obesulus* (Bivalvia: Donacidae), de la zona intermareal de las playas: Lagunas (07°02'49''S, 79°44'48''W), San José (06°45'25''S, 79°58'46''W), y El Gigante–Mórrope (06°29'22''S, 80°23'38''W) de la región Lambayeque (Fig. 1) durante los meses mayo a julio de 2013. La muestra estuvo conformada por el

número de individuos desvalvados que sumados pesaron 250 g. Se midió: estructura por tallas (longitud valvar) y peso total, morfometría, relación peso-longitud.

Figura 1. Ubicación de las áreas de muestreo en el litoral de la región Lambayeque, (Fuente: Instituto del Mar del Perú).

Ensayo toxicológico

- a) Homogenización: Del total de la muestra de laboratorio, solo 50 g fueron separados de manera aleatoria y sometidos a una licuación en un homogeneizador obteniéndose una masa uniforme.
- b) Pesaje: Se tomó aproximadamente 1 g de la muestra homogenizada para el proceso químico de digestión (ataque ácido).
- c) Digestión de tejido blando: Cada muestra se vertió respectivamente a un tubo de ensayo de teflón con la ayuda de agua ultra pura a un aproximado de 4,5 a 5ml. Se realizaron dos repeticiones por cada área de muestreo, además, se utilizó un tubo de teflón lleno de agua ultra pura el cual sirvió como tubo control. Se adicionó ácido nítrico HNO₃ al 98% y ácido clorhídrico HCl al 97% en la cantidad de 9 mL y 3 mL para cada tubo de teflón. Para catalizar la digestión se usó un microondas programado con un método propio para tejidos animales: peces, moluscos y crustáceos: 800 watts/7 minutos con una rampa de temperatura de 170^o C.
- d) Filtración: El resultado de la digestión se filtró a fiolas de 100 mL. Dichas fiolas se enrasaron ulteriormente con agua ultra pura.
- e) Lectura en el espectrofotómetro: Mediante un detector de alto rendimiento los valores obtenidos fueron interpretados por el ordenador y traducidos a concentraciones de cadmio, plomo y cobre presente en la muestra de *D. obesulus* procesada.

Para determinar las diferencias estadísticas en las concentraciones de cadmio, plomo y cobre en moluscos bivalvos comestibles, los datos fueron expresados como promedio y desviación estándar (SD) usando el software InfoStat. La comparación de los valores promedios entre áreas (para la misma estación) fueron estimados por la prueba t de Student. El efecto de la estación y el área de muestreo fueron probados con nivel de significancia $p < 0,05$.

RESULTADOS

En la playa Lagunas el mayor número de individuos colectados se registró en julio, con un total de 424 ejemplares, encontrándose la talla mínima en mayo, con una longitud de 11,55 mm, además de ser la talla más pequeña halla en la investigación. La máxima longitud medida correspondió al mes de julio con 33,46 mm. El promedio de la longitud en la playa osciló entre los 25,34 mm y 28,75 mm.

Tabla 1. Longitud valvar (mm) de los individuos hallados durante los meses mayo a julio en la playa Lagunas, distrito de Lagunas, provincia de Chiclayo, 2013.

<i>Donax obesulus</i>	Playa Lagunas		
	Mayo	Junio	Julio
Número	301	333	424
Mínimo	11,55	20,68	13,92
Máximo	31,50	31,67	33,46
Promedio	26,87	28,75	25,34
Desviación estándar	2,85	1,63	4,34
Coefficiente de variación	10,59	5,68	17,15

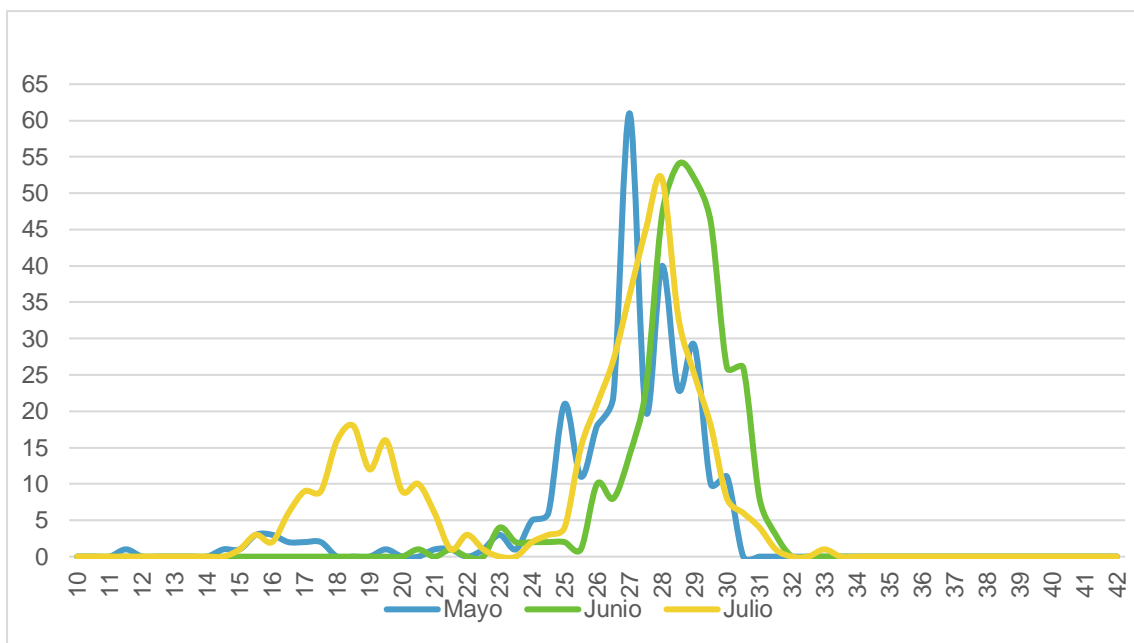


Figura 1. Distribución de frecuencias de tallas (longitud valvar) de *D. obesulus* durante los meses mayo a julio en la playa Lagunas, distrito de Lagunas, provincia de Chiclayo, 2013.

En la playa San José se colectaron 271 individuos. La talla mínima hallada corresponde a 11,78 mm y la máxima 41,3 mm durante el inicio del muestreo en mayo, siendo a su vez, la talla más grande registrada en los especímenes muestreados. El promedio de longitud valvar estuvo comprendido entre los 24,48 mm y 28,04 mm siendo el grupo de individuos con menor tamaño en lo que correspondió todo el tiempo de investigación, especialmente en el mes de julio, alcanzando solo los 24,48 mm.

Tabla 2. Longitud valvar (mm) de los individuos hallados durante los meses mayo a julio en la playa San José, distrito de San José, provincia de Chiclayo, 2013.

<i>Donax obesulus</i>	Playa San José		
	Mayo	Junio	Julio
Número	271	278	283
Mínimo	14,75	11,78	13,9
Máximo	41,3	32,56	33,99
Promedio	28,04	26,79	24,48
Desviación estándar	3,48	3,72	4,11
Coefficiente de variación	12,40	13,89	16,77

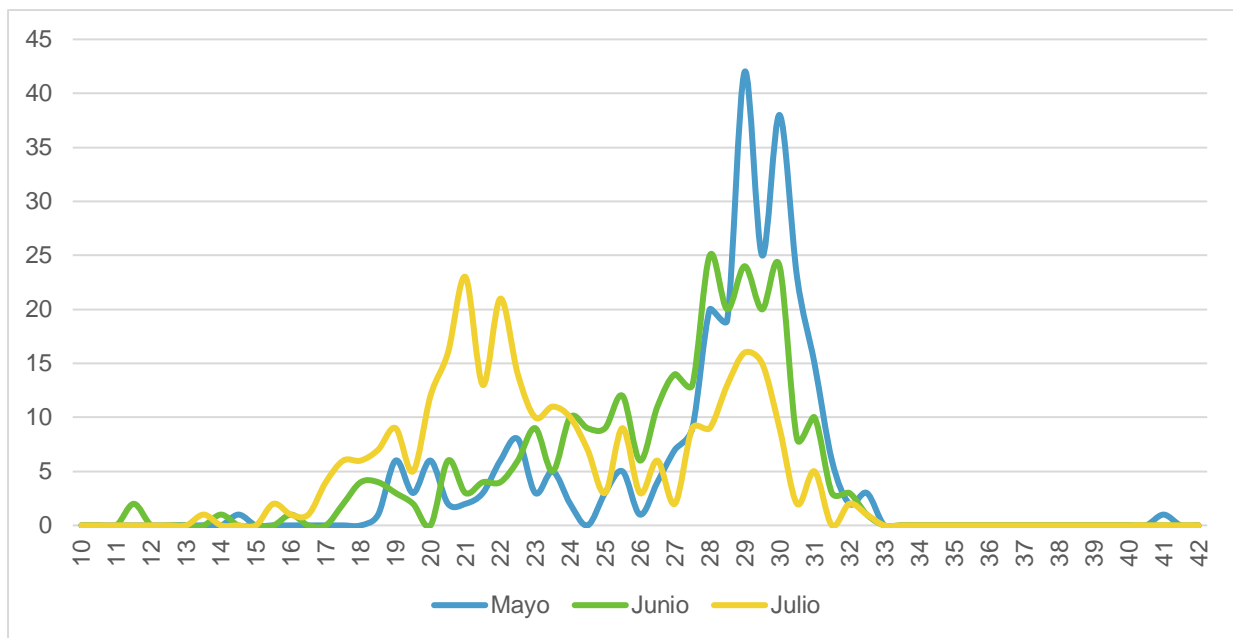


Figura 2. Distribución de frecuencias de tallas (longitud valvar) de *D. obesulus* durante los meses mayo a julio en la playa San José, distrito de San José, provincia de Chiclayo, 2013.

En la playa El Gigante se registró la mayor cantidad de individuos durante todo el trabajo de investigación con un número total de 472 especímenes, siendo en el primer mes de muestreo el mes con mayores individuos. La talla mínima hallada fue de 15,03 mm en el mes de junio y la talla máxima de 36,94 mm también en el mismo mes. su promedio osciló entre los 28,69 mm y 30,76 mm representando el grupo de individuos más grandes de las tres áreas muestreadas durante el tiempo de estudio.

Tabla 3. Longitud valvar (mm) de los individuos hallados durante los meses mayo a julio en la playa El gigante, distrito de Mórrope, provincia de Lambayeque, 2013.

<i>Donax obesulus</i>	Playa El Gigante		
	Mayo	Junio	Julio
Número	472	318	290
Mínimo	18,55	15,03	18,64
Máximo	35	36,94	35,52
Promedio	28,69	30,76	30,44
Desviación estándar	2,22	3,48	3,10
Coefficiente de variación	7,74	11,31	10,18

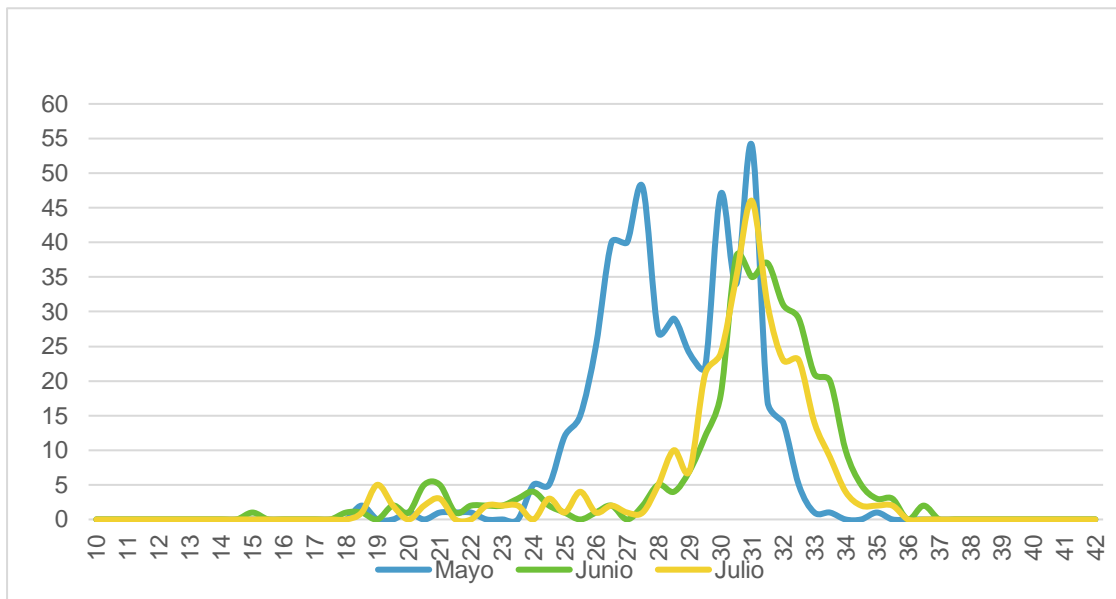


Figura 4. Distribución de frecuencias de tallas (longitud valvar) de *D. obesulus* durante los meses mayo a julio en la playa el gigante, distrito de Mórrope, provincia de Chiclayo, 2013.

Se puede corroborar que existió una correlación de $R= 0,9629$ entre el peso y longitudes de *Donax obesulus* muestreadas durante los meses mayo a julio, observándose un crecimiento alométrico negativo de $b= 2,5674$ como se observa en la Figura 5.

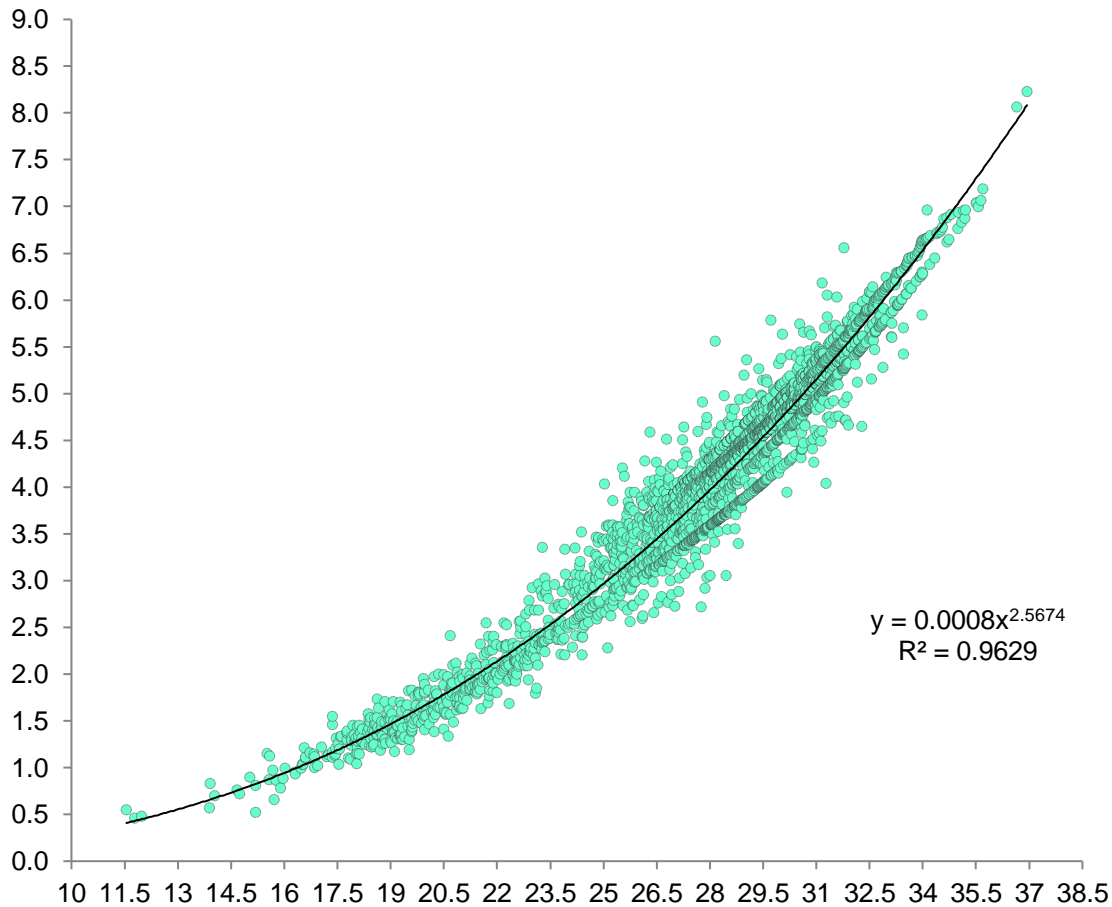


Figura 5. Relación peso-longitud de *Donax obesulus* durante los meses mayo a julio en las playas Lagunas, San José y el gigante, Región Lambayeque, 2013.

En la playa San José se encontró que prácticamente la bioacumulación de cobre se triplicó, yendo desde los $3,7 \mu\text{g g}^{-1}$ hasta los $10,1 \mu\text{g g}^{-1}$ en peso húmedo durante el tiempo que duró la investigación, tal como se presenta en la tabla 4. La menor concentración de este elemento fue de $2,0 \mu\text{g g}^{-1}$ en peso húmedo en la playa El Gigante en el mes de mayo, siendo esta área de muestreo la que presentó las concentraciones más bajas de cobre durante el periodo de investigación. Las concentraciones de plomo en las playas El Gigante, San José y Lagunas durante el tiempo que se investigó mostró siempre la misma concentración $0,3 \mu\text{g g}^{-1}$ de peso húmedo. Los análisis realizados a los tejidos comestibles de *D. obesulus*, mostraron que solo en el mes de mayo (tabla 4) y solo para la playa El Gigante en Mórrope, se determinó la concentración de cadmio ($0,4 \mu\text{g g}^{-1}$ en peso húmedo) aunque en una concentración no muy disímil a las demás áreas de muestreo, por lo que en adelante y en general se desestima la presencia. En los demás meses, las concentraciones inclusive fueron menores a $0,2 \mu\text{g g}^{-1}$ en peso húmedo, para todos los meses y para todas las áreas de muestreo no existiendo diferencias significativas. ($P > 0,05$).

Tabla 4. Niveles de concentración de metales pesados expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$ en peso húmedo, en tejido comestible de *D. obesulus* provenientes de las playas Lagunas, San José y El Gigante, del litoral de la Región Lambayeque, mayo a julio del 2013.

COBRE	Mayo	Junio	Julio
Lagunas	2,4	4,1	6,7
San José	3,7	5,4	10,1
El gigante	2,0	2,1	2,8
PLOMO			
Lagunas	0,3	0,3	0,3
San José	0,3	0,3	0,3
El gigante	0,3	0,3	0,3
CADMIO			
Lagunas	<0,2	<0,2	<0,2
San José	<0,2	<0,2	<0,2
El gigante	0,4	<0,2	<0,2

DISCUSIÓN

En la mayoría de los organismos, el cobre es parte de su composición proximal debido a que es un elemento esencial, bioacumulándose para formar ciertos tipos de proteínas y enzimas (Rainbow, 2002). Este trabajo reportó una tendencia bioacumulativa, tanto para las diferentes áreas y tiempo de muestreo. Como lo expone Baršytė, (1999) la gran acumulación de cobre en *Viviparus viviparus* provenientes del canal Vilhemo, cerca de Drevema, puede ser explicada por su mecanismo de alimentación.

La investigación de Usero *et al.*, (2005), en el estudio de la concentración de metales pesados en moluscos de la costa sur atlántica de España, muestra que el cobre fue el metal más abundante en *Donax trunculus* con una concentración de 383 mg Kg⁻¹ peso seco y en *Chamelea gallina* con 90 mg Kg⁻¹ peso seco, en concordancia con este estudio, las áreas muestreadas están localizadas cerca a la Boca del estuario de Huelva, donde el río Tinto y el río Odiel desembocan y ambos están altamente contaminados por metales.

En el mismo sentido, las bioconcentraciones de plomo halladas en la región patagónica de la Argentina por Gil *et al.*, (2006) en *Mytilus edulis* y en *Aulacomya atra* fue de 1,82 hasta 8,07 µg g⁻¹ peso seco y de 1,64 hasta 6,85 µg g⁻¹ peso seco respectivamente, considerando que tales resultados son típicos de zonas de bajo impacto antrópico, excediendo en poca medida el máximo permitido para el consumo humano según la Comunidad Económica Europea (2001).

En similitud Singh *et al.*, (2012) hallaron que en los tejidos de *Donax faba* provenientes de la playa de Panambur, los promedios de las concentraciones de cobre y plomo fueron de 21,84 y 4,22 µg g⁻¹

¹ peso seco respectivamente y estas medias muestran que dichas concentraciones están por debajo de los límites máximos permitidos.

Gil *et al.*, (2006) encontraron niveles de cadmio desde 3.89 y hasta 6.74 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco en *Mytilus edulis* y en *Aulacomya atra* de 2,36 hasta 6,74 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco cuyas causas de procedencia no son de fuentes industriales o minerales a las proximidades de donde se tomaron las muestras, suponiendo que el origen es natural de similar forma que las concentraciones halladas en *Donax obesulus* del litoral de la región Lambayeque.

Hamed y Emara (2006) en su estudio encontraron que el máximo valor de cadmio (2,71 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) fue registrado durante el invierno del 2003 en la estación 1 (Adabiya, primera de las 7 áreas de muestreo, al noroeste del Golfo de Suez) mientras que su valor mínimo (1,86 $\mu\text{g g}^{-1}$ ps) fue hallado en el verano en la misma área de muestreo el mismo año, atribuyendo el origen a los afluentes provenientes de los complejos industriales y refinerías, compañías de fertilizantes y electricidad, aguas residuales y alcantarillado de la ciudad de Suez y finalmente de las embarcaciones que usan el canal de Suez para su trayecto.

Todo lo contrario, es el caso de Liang *et al.*, (2004) quienes reportaron que para el cadmio en las áreas de muestreo de Penglai y Qinhuangdao (2,55 y 3,29 $\mu\text{g g}^{-1}$ ph respectivamente) en *Crassostrea talienwhanensis* las concentraciones de este metal estuvieron por encima de los valores restrictivos establecidos por la OMS (1987), demostrando que dichos bivalvos sí constituyen un riesgo para la salud humana. Lo mismo sucedió en los análisis de Fang *et al.*, (2001) en bivalvos provenientes de los mercados de la región del delta del río perla en China, quienes excedieron los niveles permitidos de cadmio establecido por la PHMSO (1988) constituyendo un riesgo latente para la salud humana. Aunque los niveles de cadmio hallados en este estudio en *Donax obesulus* son pequeños y no se realizaron análisis de valvas, Huanxin *et al.* (2000) demuestran que se bioacumula muy bien tanto en tejidos blandos como en valvas. Este hecho llamó la atención a los investigadores, dado que el cadmio no es un oligoelemento esencial para ningún organismo, y hallar una concentración del orden de 42 veces más en las valvas que en el sedimento, los llevó a deducir que este elemento es tomado como un sustitutivo del calcio, el cual sí es un elemento esencial para los organismos vivos, puesto que poseen una similitud geoquímica, especialmente en el radio iónico (cf. Ca 9.7 y Cd 9.8 nm). A través de los muestreos biométricos que se realizaron, se pudo constatar que la mayor cantidad de individuos de *D. obesulus* correspondieron a tallas superiores a la talla mínima para captura establecida por el Ministerio de la Producción de Perú (22 mm), tallas que oscilaron entre los 22 mm hasta los 41,3 mm y siendo el mayor promedio hallado de 30,76 mm y que fueron las elegidas para que formaran parte de la sub muestra para el ensayo toxicológico, y a pesar de corresponder a una talla que involucra individuos cuya edad superarían la edad media de vida de esta especie, la bioacumulación de metales pesados que poseen, no representaron niveles alarmantes, por ser bajas, las cuales no ponen en riesgo ni a los consumidores de *D. obesulus* ni el normal crecimiento, desarrollo y/o reclutamiento.

Para futuros estudios sobre la calidad y la situación ambiental del litoral lambayecano, se debería ampliar los intervalos de tiempo de estudios para que de esa manera se pudieran observar otro tipo de variaciones espaciotemporales, y de ser posible, variaciones de concentración en el mismo organismo intra-tejidos. También se podrían utilizar juntamente otras especies de moluscos que

también forman parte de la dieta de los pobladores de la región Lambayeque, los cuales presenten características de organismos bioacumuladores para verificar que la bioacumulación se registra no solo en un organismo sino en todos y establecer la capacidad de uso como biomonitor. Como *D. obesulus* es un bivalvo filtrador y de fácil acceso para su extracción y consumo, se perfila como un candidato adecuado para su uso como biomonitor de contaminación a mediano y largo plazo para el control y caracterización del estado de la salud ambiental del litoral lambayecano.

CONCLUSIONES

La concentración de cobre mostró una tendencia acumulativa durante toda la investigación hasta ascender a los $10.1 \mu\text{g g}^{-1}$ peso húmedo en el mes de julio en la playa El Gigante en Mórrope. Los niveles hallados de plomo ($>0.3 \mu\text{g g}^{-1}\text{ph}$) y cadmio ($>0,2 \mu\text{g g}^{-1}\text{ph}$) corresponden a niveles exigüos presentes en el tejido comestible de *D. obesulus*. Las concentraciones de cobre, plomo y cadmio en los tejidos comestibles de *D. obesulus* no superan ninguno de los Límites Máximos Permisibles establecidos por los organismos gubernamentales a nivel internacional y no representan problema alguno desde el punto de vista de la salud de los comensales.

AGRADECIMIENTOS

A los laboratorios Environmental Laboratories Perú Envirolab Perú S.A.C - Lima, por brindar sus instalaciones y servicios para el oportuno desarrollo y ejecución de la investigación.

REFERENCIAS

- Anacleto, P., Maulvault, A. L., Nunes, M. L., Carvalho, M. L., Rosa, R., & Marques, A. (2015). Effects of depuration on metal levels and health status of bivalve molluscs. *Food Control*, 47, 493–501. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.07.055>
- Baršytė Lovejoy, D. (1999). Heavy metal concentrations in water, sediments and mollusc tissues. *Acta Zoologica Lituanica*, 9(2), 12–20. <https://doi.org/10.1080/13921657.1999.10512282>
- Cariou, E., Guivel, C., La, C., Lenta, L., & Elliot, M. (2017). Lead accumulation in oyster shells, a potential tool for environmental monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1–2), 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.075>
- Chelomin, V. P., Slobodskova, V. V., Zakhartsev, M., & Kukla, S. (2017). Genotoxic potential of copper oxide nanoparticles in the bivalve mollusk *Mytilus trossulus*. *Journal of Ocean University of China*, 16(2), 339–345. <https://doi.org/10.1007/s11802-017-3133-y>
- Gil, M. N., Torres, A., Harvey, M., & Esteves, J. L. (2006). Metales pesados en organismos marinos de la zona costera de la Patagonia Argentina continental. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 41(2), 167–176. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572006000200004>
- Goretti, E., Pallottini, M., Ricciarini, M. I., Selvaggi, R., & Cappelletti, D. (2016). Heavy metals bioaccumulation in selected tissues of red swamp crayfish: An easy tool for monitoring environmental contamination levels. *Science of the Total Environment*, 559, 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.169>
- Hamed, M. A., & Emara, A. M. (2006). Marine molluscs as biomonitors for heavy metal levels in the Gulf of Suez, Red Sea. *Journal of Marine Systems*, 60(3–4), 220–234. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.09.007>

- Huanxin, W., Lejun, Z., & Presley, B. J. (2000). Bioaccumulation of heavy metals in oyster (*Crassostrea virginica*) tissue and shell. *Environmental Geology*, 39(11), 1216–1226. <https://doi.org/10.1007/s002540000110>
- Kumar, V., Parihar, R. D., Sharma, A., Bakshi, P., Singh Sidhu, G. P., Bali, A. S., Karaouzas, I., Bhardwaj, R., Thukral, A. K., Gyasi-Agyei, Y., & Rodrigo-Comino, J. (2019). Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. In *Chemosphere* (Vol. 236, p. 124364). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364>
- Liang, L. N., He, B., Jiang, G. B., Chen, D. Y., & Yao, Z. W. (2004). Evaluation of mollusks as biomonitors to investigate heavy metal contaminations along the Chinese Bohai Sea. *Science of the Total Environment*, 324(1–3), 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.10.021>
- Liu, B., Wang, J., Xu, M., Zhao, L., & Wang, Z. (2019). Spatial distribution, source apportionment and ecological risk assessment of heavy metals in the sediments of Haizhou Bay national ocean park, China. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110651. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110651>
- Merad, I., Bellenger, S., Hichami, A., Khan, N. A., & Soltani, N. (2018). Effect of cadmium exposure on essential omega-3 fatty acids in the edible bivalve *Donax trunculus*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(19), 18242–18250. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9031-4>
- Rainbow, P. S. (2002). Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: Why and so what? *Environmental Pollution*, 120(3), 497–507. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00238-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00238-5)
- Samanta, S., & Dalai, T. K. (2018). Massive production of heavy metals in the Ganga (Hooghly) River estuary, India: Global importance of solute-particle interaction and enhanced metal fluxes to the oceans. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 228, 243–258. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.03.002>
- Shahsavani, A., Fakhri, Y., Ferrante, M., Keramati, H., Zandsalimi, Y., Bay, A., Hosseini Pouya, S. R., Moradi, B., Bahmani, Z., & Mousavi Khaneghah, A. (2017). Risk assessment of heavy metals bioaccumulation: fished shrimps from the Persian Gulf. In *Toxin Reviews* (Vol. 36, Issue 4, pp. 322–330). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/15569543.2017.1312451>
- Shi, W., Zhao, X., Han, Y., Che, Z., Chai, X., & Liu, G. (2016). Ocean acidification increases cadmium accumulation in marine bivalves: A potential threat to seafood safety. *Scientific Reports*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep20197>
- Singh, Y. T., Krishnamoorthy, M., & Thippeswamy, S. (2012). Status of heavy metals in tissues of wedge clam, *Donax faba* (Bivalvia: Donacidae) collected from the Panambur beach near industrial areas. *Recent Research in Science and Technology*, 4(5), 30–35. <http://updatepublishing.com/journal/index.php/rrst/article/view/896>
- Usero, J., Morillo, J., & Gracia, I. (2005). Heavy metal concentrations in molluscs from the Atlantic coast of southern Spain. *Chemosphere*, 59(8), 1175–1181. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.11.089>
- Warner, J., DeLong, K. L., Chicoine, D., Andrus, C. F. T., Thirumalai, K., & Wanamaker, A. D. (2019). Detecting Increasing El Niño-Southern Oscillation Intensity in Coastal Peru at 400 BCE Compared to the mid-Holocene Using Short-lived Bivalves *Mesodesma donacium* and *Donax obesulus*. *AGUFM*, 2019, OS53D-1553.
- Warner, J., DeLong, K. L., Chicoine, D., Wanamaker, A. D., & Thirumalai, K. (2016). Assessing El Niño Variability on the Coast of Peru Using Two Short-Lived Bivalve Species, *Donax obesulus* and *Mesodesma donacium*, From Archaeological and Modern Contexts. *AGUOS*, 2016, PC54A-2236.

Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

- Los autores declaran que son conscientes de que son los únicos responsables del contenido del preprint y que el depósito en SciELO Preprints no significa ningún compromiso por parte de SciELO, excepto su preservación y difusión.
- Los autores declaran que se obtuvieron los términos necesarios del consentimiento libre e informado de los participantes o pacientes en la investigación y se describen en el manuscrito, cuando corresponde.
- Los autores declaran que la preparación del manuscrito siguió las normas éticas de comunicación científica.
- Los autores declaran que los datos, las aplicaciones y otros contenidos subyacentes al manuscrito están referenciados.
- El manuscrito depositado está en formato PDF.
- Los autores declaran que la investigación que dio origen al manuscrito siguió buenas prácticas éticas y que las aprobaciones necesarias de los comités de ética de investigación, cuando corresponda, se describen en el manuscrito.
- Los autores declaran que una vez que un manuscrito es postado en el servidor SciELO Preprints, sólo puede ser retirado mediante solicitud a la Secretaría Editorial deSciELO Preprints, que publicará un aviso de retracción en su lugar.
- Los autores aceptan que el manuscrito aprobado esté disponible bajo licencia [Creative Commons CC-BY](#).
- El autor que presenta el manuscrito declara que las contribuciones de todos los autores y la declaración de conflicto de intereses se incluyen explícitamente y en secciones específicas del manuscrito.
- Los autores declaran que el manuscrito no fue depositado y/o previamente puesto a disposición en otro servidor de preprints o publicado en una revista.
- Si el manuscrito está siendo evaluado o siendo preparando para su publicación pero aún no ha sido publicado por una revista, los autores declaran que han recibido autorización de la revista para hacer este depósito.
- El autor que envía el manuscrito declara que todos los autores del mismo están de acuerdo con el envío a SciELO Preprints.