

**UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y FILOSOFIA “ALBERTO CAZORLA TALLERI”**



**Acumulación de metales pesados en especies nativas del género *Anadara sp.*
y en sedimentos de los manglares de Tumbes**

**Trabajo de Investigación para optar por el grado de Bachiller en Ciencias con mención
en Biología**

AUTORES

Álvaro Sebastian Recoba García
Gabriel Ernesto Ramos Burga

ASESOR

Dr. Alexander Perez Segovia

Lima, Perú

2022

Tabla de contenidos:

Resumen.....	3
Abstract.....	4
Pregunta de investigación.....	5
1. Estado del arte.....	5
1.1. Ecosistemas de manglares y acumulación de metales pesados.....	5
1.2. Características sedimentarias de los manglares.....	6
1.3. Acumulación de metales pesados en sedimentos.....	8
1.4. Acumulación de metales pesados en bivalvos.....	10
2. Problema de investigación.....	11
3. Estrategia de abordaje.....	13
Referencias.....	15
Anexos.....	19

Resumen:

En la región norte del Perú (Tumbes), los manglares se desarrollan en Puerto Pizarro y en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes, el primero caracterizado por una alta actividad urbana, comercial y turística [2] y el segundo por sus condiciones más preservadas y la regulación de actividades antropogénicas [4]. En ambos se realizan actividades extractivas de especies nativas de bivalvos, peces y crustáceos para consumo humano directo [2, 11]. Estudios muestran que debido a la alta capacidad de retención de sedimentos finos y de materia orgánica que presentan estos ecosistemas, pueden acumular altas cantidades de metales pesados en sus ambientes sedimentarios [3, 6, 13, 17]. Esta puede derivar de actividades antropogénicas (expansión urbana, actividades extractivas, etc.) [2, 3, 5] y puede estar controlada por condiciones naturales del sistema (geomorfología, régimen hídrico estacional, etc.) [3, 7, 8, 9]. Además, esta acumulación puede ser nociva para las especies de bivalvos que habitan y dependen de estos ambientes sedimentarios [3, 10], teniendo en cuenta que la capacidad de acumulación de metales puede variar entre especies y hábitats [10, 25]. Este proyecto propone determinar si el hábitat sedimentario y el régimen hídrico estacional son factores que controlan la acumulación de metales pesados en tejidos blandos de especies comerciales de *Anadara sp.* “conchas negras” (*A. tuberculosa*, *A. similis* y *A. grandis*), las cuales serán colectadas en rangos de tamaños comparables entre ellas. Las muestras de sedimento y tejidos blandos de bivalvos serán recolectadas dentro de los principales conchales de los manglares de Puerto Pizarro y del Santuario durante las temporadas de avenida y de estiaje. El proyecto determinará si el régimen hídrico y el hábitat sedimentario tienen influencia sobre la acumulación de metales pesados en estas especies de bivalvos. Además, proveerá información para el reconocimiento de conchales con mayor acumulación de metales dentro de estos manglares. Estos datos podrán ser insumo de planes de gestión, manejo y conservación de recursos hidrobiológicos.

Palabras clave: Anadara, bivalvo, manglares, metales pesados

Abstract:

In the northern region of Peru (Tumbes), mangrove forests develop in Puerto Pizarro and in Santuario Nacional Manglares de Tumbes. The first site is a highly impacted area due to its high urban, commercial and touristic unregulated development [2]; while the second one corresponds to a better preserved area due to the regulation of anthropogenic activities [4]. In both, extractive activities of native species like bivalves, fishes and crustaceans for human consumption take place on a daily basis [2, 11]. Previous research has shown that, thanks to the high retention capacity of fine sediments and organic matter that these ecosystems have, they can accumulate large quantities of heavy metals in such sediments [3, 6, 13, 17]. This accumulation could come from anthropogenic activities (e.g. urban expansion, extractive activities, etc.) [2, 3, 5] and can be influenced by the natural conditions of the system (e.g. geomorphology, stationary hydric regime, etc.) [3, 7, 8, 9]. Moreover, this accumulation can be harmful to bivalve native species that inhabit and depend on these sedimentary environments [3, 10], if we take into account that metal accumulation capacity can vary depending on the species and habitat [10, 25]. The present project aims to determine if the sedimentary environment and seasonal hydric regime are factors controlling heavy metal accumulation in the soft tissue of *Anadara* commercial species (*Anadara tuberculosa*, *A. similis*, *A. grandis*), which will be collected in ranges of comparable sizes to each other. The muscle and sediment samples will be taken from the main “conchales” (high bivalve density extraction areas) located in Puerto Pizarro and Santuario Nacional Manglares de Tumbes during dry and wet seasons. Lastly, this project will determine whether the hydric regime and sedimentary environment are controlling heavy metal accumulation of the bivalve species previously mentioned. Furthermore, it will provide useful information to acknowledge the “conchales” that present

the higher metal accumulation inside mangrove ecosystems. This data could be used to develop management, administration and conservation plans of hydrobiological resources.

Keywords: Anadara, bivalve, mangroves, heavy metals

Pregunta de investigación: ¿El régimen hídrico y el hábitat sedimentario tienen influencia sobre la acumulación de metales pesados en los tejidos blandos de las especies comerciales del género *Anadara*?

1. Estado del arte

1.1. Ecosistemas de manglares y acumulación de metales pesados

Los bosques de manglares son ecosistemas que se encuentran en zonas intermareales de latitudes tropicales y subtropicales de nuestro planeta, caracterizados principalmente por sedimentos fangosos, pendiente de poca declividad, flora adaptada a vivir en suelos anaeróbicos y a condiciones de alta salinidad en columna de agua [1]. En el Perú, los ecosistemas de manglares se encuentran localizados en su mayoría en la provincia de Tumbes y se pueden encontrar en la bahía de Puerto Pizarro y en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes (SNLMT). Puerto Pizarro está caracterizado por ser un área impactada por una alta actividad turística, comercial y urbana [2], mientras que el SNLMT es un área legalmente protegida con regulación de las actividades antropogénicas que se llevan a cabo dentro de su límite geográfico [3]. Los manglares de estas áreas albergan una alta diversidad biológica y proveen de servicios ecosistémicos de gran importancia ecológica, económica y social, como lo son la provisión de alimentos y materia prima de origen biológico, actividades recreativas y turísticas, así como servicios de regulación térmica, etc. [4].

Las características de los bosques de manglares también los vuelven ecosistemas vulnerables, pudiendo ser particularmente afectados por la presencia de metales pesados que pueden provenir de efluentes industriales, agrícolas, acuícolas, mineros y domésticos [2, 3, 5]. Estos

pueden ingresar a estos ecosistemas a través de los ríos, intrusión de agua marina o a través de deposición atmosférica [3] y acumularse por mecanismos como la precipitación con sulfuros, la adsorción a arcillas y la adsorción a materia orgánica [6, 7, 8, 9]. La presencia de estos metales es altamente nociva, ya que tiene efectos tóxicos en la fauna bentónica y en los peces que habitan estos ecosistemas, pudiendo afectar la estructura y la diversidad biológica de microorganismos, moluscos y crustáceos; y constituye un riesgo para las comunidades que los incorporan en su dieta [3, 10, 11].

1.2. Características sedimentarias de los manglares

La composición de los sedimentos de los ecosistemas de manglares puede ser muy heterogénea incluso dentro de los mismos manglares [12]. Sin embargo, se ha descrito una mayor capacidad de acumular metales pesados en aquellos manglares con sedimentos anaeróbicos, ricos en materia orgánica, limos y arcillas [6, 13]. La materia orgánica autóctona presente en los sedimentos de estos ecosistemas proviene principalmente de la hojarasca, de las raíces de los manglares, contribuciones notables de materia orgánica de fitoplancton, cianobacterias y alóctona, traída desde río arriba [12]. Por lo general, la fricción que ofrecen las raíces de los manglares desacelera el movimiento de las corrientes de agua y permite que las partículas orgánicas, arcillosas y limosas, se acumulen en los ambientes sedimentarios [12]. Sin embargo, las características hidrológicas de estos ecosistemas pueden tener efectos sobre los sedimentos que pueden variar ampliamente y ser sitio-específicos, alterando la sedimentación de partículas y las características biogeoquímicas del sedimento [12].

En los sedimentos de manglar, las tasas de descomposición de esta materia orgánica están gobernadas por la disponibilidad de aceptores de electrones en la columna de sedimento en forma de compuestos oxigenados disponibles (Ej. oxígeno disuelto, sulfato, nitrato, etc.) [13].

Cuando estos compuestos son utilizados, la baja eficiencia de descomposición por vías anaeróbicas conlleva a la mayor acumulación de compuestos orgánicos en sedimentos, que tiene como consecuencia la disminución de los niveles de pH y potencial redox en los ambientes sedimentarios [14]. Al establecerse condiciones anaeróbicas en la columna de sedimento, la degradación de la materia orgánica se ve en gran parte influenciada por bacterias fermentativas y bacterias sulfato-reductoras [12]. Estas últimas producen compuestos (Ej. sulfuro de hidrógeno) al degradar materia orgánica, el cual tiende a precipitarse rápidamente hacia los sedimentos o mantenerse en estado disuelto en el agua intersticial [4]. El régimen hídrico estacional (Ej. cambio del caudal de ríos durante época de lluvias y/o sequías), así como el régimen de mareas son capaces de transportar estos compuestos químicos hacia otras partes del ecosistema [12]. Además, las capas más profundas de la columna de sedimento pueden oxigenarse por la acción de la bio perturbación bentónica y por medio de la rizosfera de los mangles [12].

Es importante mencionar que, al igual que en otros manglares de tipo estuarino [12], en los ecosistemas de manglares del Perú se ha documentado que el contenido de materia orgánica tiende a acumularse en mayor cantidad durante la temporada seca y que además se correlacionan con un mayor contenido de arcillas y menores valores de pH, oxígeno disuelto y condiciones más reductoras [15]. En contraste, durante la temporada húmeda el contenido de materia orgánica se reduce, junto con un aumento en el pH, oxígeno disuelto y en el potencial redox [15]. También, se ha reportado que la formación de compuestos químicos (Ej. el sulfuro de hidrógeno) en el perfil sedimentario varía en cuestión de horas y son controladas principalmente por mareas, además de tener variaciones estacionales que son sitio-específicas [16].

1.3. Acumulación de metales pesados en sedimentos

Normalmente los sedimentos acumulan metales pesados en formas poco biodisponibles, pero las variaciones en los parámetros fisicoquímicos y en las propiedades geoquímicas del sedimento pueden movilizarlos hacia una fase biodisponible [17]. Por ejemplo, el hierro y manganeso reaccionan con el sulfuro de hidrógeno producido durante la degradación de la materia orgánica y precipitan como sulfuros de hierro o manganeso, así, los metales pesados que ingresan al ecosistema pueden reaccionar con los sulfuros y precipitar en formas poco biodisponibles [6, 12]. Este mecanismo de acumulación está influenciado por cambios en el pH y las condiciones redox en los sedimentos [7, 8, 9]. Por otro lado, las partículas arcillosas pueden absorber metales pesados sobre su superficie al adsorber iones hidróxido y unirse con los metales pesados a través de estos o por el desplazamiento directo de protones [7, 9]. El grado de adsorción que depende del tipo de arcilla y la retención de los metales pesados normalmente también está controlada por el pH del sedimento debido a la competencia de los iones H^+ por los sitios de adsorción, a excepción del arsénico y cromo, cuya retención es inversamente proporcional al pH [7, 9].

Finalmente, la materia orgánica sedimentaria también influye sobre la acumulación de metales pesados. Los ácidos húmicos de la materia orgánica pueden formar complejos estables con los metales pesados, reduciendo su solubilidad y biodisponibilidad [7, 9]. Además, la presencia de grupos carboxílicos y fenólicos en la materia orgánica es esencial para la adsorción, así que el incremento de la cantidad de estos grupos también incrementa la estabilidad de los complejos adsorbidos [7, 9]. Si las condiciones del sedimento se tornan aeróbicas, la degradación de esta materia orgánica sedimentaria puede intensificarse, conllevando a la liberación de los metales pesados [8].

Las fuentes exactas de los metales pesados que se pueden encontrar en muestras ambientales normalmente son difíciles de determinar, debido a que son una mezcla de fuentes naturales y antropogénicas [3]. En la bahía de Puerto Pizarro y en el SNLMT se dan distintas actividades antropogénicas que podrían estar generando un aporte de metales pesados hacia los ambientes sedimentarios de sus manglares [2, 3, 18, 19]. Por ejemplo, se ha determinado que existen concentraciones elevadas de níquel, hierro, cromo, cobre, zinc, arsénico, cadmio, bario y plomo en los sedimentos cercanos al desembarcadero pesquero de la bahía de Puerto Pizarro que podrían provenir de actividades agrícolas, langostineras y efluentes pesqueros [2]. Además de eso, se ha descrito que en la zona de amortiguamiento del SNLMT también se desarrollan actividades langostineras y agrícolas, que podrían aportar metales hacia los sedimentos [18] y se estima que existe un aporte de metales pesados producto de la minería proveniente del Ecuador y que llegan al territorio nacional desde ríos y quebradas que desembocan desde este país [19].

No existen estudios científicos publicados que hayan determinado específicamente el aporte o el impacto de los metales pesados a estos ecosistemas por parte de la minería en Ecuador, pero se han realizado estudios sobre la contaminación de metales pesados en las aguas superficiales de distintas zonas del río Zarumilla y del río Tumbes, que desembocan en el SNLMT y en las cercanías de Puerto Pizarro respectivamente [20]. En las aguas de la cuenca del río Zarumilla que atraviesa la zona de amortiguamiento del SNLMT no se han encontrado concentraciones de metales pesados que pasen los límites permisibles para ecosistemas estuarinos [20]. Sin embargo, se ha encontrado que a lo largo del río Tumbes, las concentraciones de arsénico, aluminio, hierro, manganeso y plomo se encuentran sobre los límites permisibles para ecosistemas estuarinos y podrían atribuirse a las actividades mineras que se realizan en Ecuador [20]. Se ha determinado también que las principales fuentes de contaminación al río Tumbes

son las actividades mineras que se llevan a cabo en las localidades de Portovelo y Zaruma, en la provincia de El Oro en Ecuador [21].

1.4. Acumulación de metales pesados en bivalvos

La acumulación de metales pesados por parte de los bivalvos es influenciada por diversos factores biológicos y geoquímicos. Entre los factores del primer tipo, se ha visto que hay diferencias en la bioacumulación inter e intraespecie [10]. Respecto a esta última, la bioacumulación en bivalvos puede variar en función de la edad, el tamaño, el sexo, el genotipo, el fenotipo, la actividad alimentaria y el estado reproductivo [10]. Se sabe que el tamaño del bivalvo tiene influencia sobre la bioacumulación de metales pesados; no obstante, las relaciones no se cumplen siempre. Por ejemplo, una investigación indica que las altas concentraciones de cobre y zinc encontradas en el pequeño bivalvo *Donax rugosus* puede ser explicada por la mayor tasa metabólica que poseen los organismos de menor tamaño [22]. Asimismo, se ha reportado que en los individuos de menor tamaño de los bivalvos *Mercenaria mercenaria* y *Mytilus edulis* se vio una mayor concentración de plomo para la primera especie, y de cobre y hierro para la segunda [23]. La misma investigación también afirma que la edad tiene influencia sobre la acumulación de metales en esta clase de moluscos, siendo los individuos de edad más avanzada los que presentaron una mayor concentración de zinc [22, 23].

Los factores geoquímicos también han sido evaluados, por ejemplo, se conoce que las precipitaciones pueden afectar la transferencia de contaminantes desde ambientes terrestres a zonas costeras y afectar la salinidad que a su vez influencia la disponibilidad de los contaminantes para los bivalvos [24]. Asimismo, el incremento de la salinidad puede disminuir la acumulación de los bivalvos y por el contrario el incremento de la temperatura puede aumentarla [10]. Otra investigación también concuerda en que uno de los factores importantes

para disminuir la bioacumulación en el bivalvo *Corbicula fluminea* es una baja temperatura; asimismo, un bajo pH y un alto contenido orgánico en el sedimento también son importantes para lograr tal objetivo [25]. Por otro lado, el hábitat sedimentario es importante para la bioacumulación de metales en bivalvos debido a que estos organismos son principalmente detritívoros, por lo que se alimentan de aquella materia orgánica que se deposita en la columna de sedimento [10] en donde, como se describió anteriormente, se asocian también metales pesados [7, 8, 9]. Cabe resaltar que para el género *Anadara*, el conocimiento en cuanto a su acumulación de metales pesados es limitado. Se ha encontrado una relación negativa entre la talla del bivalvo y la concentración de plomo, cadmio y cromo en *A. tuberculosa* [26]. En *A. similis* existe una correlación positiva entre la talla y la concentración de cadmio y mercurio [27]. También se ha documentado que, *A. tuberculosa* sigue un patrón estacional de acumulación de cadmio, donde las concentraciones de este metal disminuyen durante temporada húmeda y son mayores durante la temporada seca y se sugiere que estos cambios se deben a variaciones de pH y salinidad [11]. *Anadara grandis*, la especie menos investigada, en donde el trabajo realizado se ha limitado a cuantificar las concentraciones de mercurio en tejidos blandos y no profundiza en los factores que controlan dicha bioacumulación [28].

1.5. Problema de investigación

Los ecosistemas de manglares peruanos tienen una gran importancia ecológica y socioeconómica para las poblaciones asociadas, ya que proveen recursos alimenticios, oportunidades de empleo, entre otros servicios para el hombre [3]. Este ecosistema, actualmente, está siendo amenazado por diversas perturbaciones, la gran mayoría antropogénicas: desarrollo urbano, agricultura, contaminación minera, etc. [3]. La contaminación por metales pesados es un problema de gran relevancia para los ecosistemas de manglar debido a la capacidad que tienen estos elementos para acumularse en los seres vivos y

en sus hábitats, esto podría provocar efectos tóxicos no solo en los organismos que acumulan directamente el contaminante sino también en los niveles más altos de la cadena trófica que consumen tales organismos contaminados [10]. Asimismo, se sabe que los sedimentos presentes en los manglares tienen una gran capacidad de acumular metales pesados, lo que agrava más esta problemática [3]. Esta acumulación en los sedimentos puede estar controlada por diversos factores como el régimen hídrico y los parámetros geoquímicos del sedimento [12, 17]. En nuestro territorio, se ha documentado que las variaciones estacionales del régimen hídrico propician una serie de cambios en las características de los sedimentos (pH, potencial redox, contenido de materia orgánica, etc.) [15, 16], que se sabe tienen una influencia en la acumulación de metales pesados en los sedimentos [6, 7, 8, 9, 17] y por ende, también en los organismos bivalvos que son los que habitan en estos ambientes sedimentarios [23, 24, 25].

Esta propuesta de investigación tiene como objetivo determinar si el hábitat sedimentario y el régimen hídrico estacional son factores que podrían estar controlando la acumulación de metales pesados en tejidos blandos en bivalvos nativos del género *Anadara* recolectados en los manglares que se encuentran en dos ubicaciones con niveles de impacto ambiental muy distintos: Puerto Pizarro y en el SNLMT. El primero, Puerto Pizarro, se caracteriza por ser un área impactada donde se desarrollan actividades urbanas, comerciales y turísticas [2]; mientras que el segundo, el SNLMT, es un área protegida que tiene condiciones más preservadas y mayor regulación de las actividades extractivas [4]. Tales actividades extractivas podrían estar siendo fuente de contaminación para el ecosistema e incluso ya se ha visto la presencia de metales pesados en los sedimentos cercanos al desembarcadero de la bahía de Puerto Pizarro [2], y también se estima que hay un aporte de metales pesados por parte de la minería desarrollada en Ecuador que llega, a territorio nacional, gracias a los ríos y quebradas que desembocan en nuestro país [19].

Este proyecto nos permitirá conocer cuáles son los posibles factores naturales (ej. régimen hídrico estacional y tipo de hábitat sedimentario) que influyen en la acumulación de metales pesados en esta especie de bivalvos. Además de que generará información para el reconocimiento de las áreas de mayor acumulación de metales dentro de estos manglares. Asimismo, esta información podrá ser utilizada para mejorar los planes de gestión, manejo y conservación de los recursos hidrobiológicos, como lo son las conchas negras que, de lo contrario, podría resultar en un problema de salud para sus consumidores directos.

1.6. Estrategia de abordaje

Para responder a la pregunta de si el régimen hídrico influencia la acumulación de metales en las especies del género *Anadara* (*A. tuberculosa*, *A. similis* y *A. grandis*), el muestreo de sedimento y conchas se realizará durante la temporada de avenida (noviembre - abril) y temporada de estiaje (mayo - octubre). Asimismo, los puntos de muestreo estarán localizados en 2 áreas distintas (Anexos, Fig. 1). La primera área comprenderá la bahía de Puerto Pizarro (área más impactada); mientras que la segunda comprenderá al SNLMT (área menos impactada). Esto debido a que la intensidad con la que se practican las actividades extractivas es mayor en la bahía Puerto Pizarro en comparación al SNLMT [2, 4].

Cada punto de muestreo corresponde a un “conchal”, que es el nombre coloquial que se le da a las áreas que presentan gran abundancia de conchas negras. Se extraerán 4-6 individuos de cada especie (*A. tuberculosa*, *A. similis* y *A. grandis*) en cada punto de muestreo y serán almacenadas en hielo para su posterior clasificación y análisis [26, 27, 28]. Se analizarán exclusivamente las partes blandas de los bivalvos, excluyendo a la concha calcárea. Con el objetivo de no perjudicar las poblaciones de las 3 especies mencionadas, los individuos colectados tendrán una talla mínima de 4.5 cm de longitud de valva, como lo indica la ley [29]. Por otro lado, se extraerá por duplicado sedimentos superficiales (0-2 cm) en cada punto de muestreo con la

ayuda de un muestreador de sedimentos manual (Modelo 77258, WILDSCO) [15]. Las muestras serán almacenadas en frascos oscuros y congeladas para su posterior análisis.

En el laboratorio, las muestras biológicas y de sedimento serán secadas a 80°C por 48 horas. Las muestras de tejido serán cortadas en pedazos del menor tamaño posible, mientras que las muestras de sedimento serán trituradas y posteriormente cernidas en un tamiz de 250 µm de apertura de malla. Luego, ambos tipos de muestra, tejido y sedimento, serán digeridas con ácido nítrico al 67% por 24 horas. Los elementos a analizar para cada tipo de muestra serán As, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn ya que son los metales más estudiados para *Anadara* en la literatura [11, 23, 24, 25]. Esto se realizará mediante el método de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES) [30].

Referencias:

1. Kathiresan, K.; Bingham, B. (2001). Biology of mangroves and mangrove Ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 81–251. doi:10.1016/s0065-2881(01)40003-4
2. Morán, B; Hidalgo, A. (2016). Contaminantes en la bahía Puerto Pizarro. *Manglar* 13(2): 33–42. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2016.014>
3. Bayen, S. (2012). Occurrence, bioavailability and toxic effects of trace metals and organic contaminants in mangrove ecosystems: A review. *Environment International*, 48, 84–101. doi: 10.1016/j.envint.2012.07.008
4. Flores, D., Céspedes, L.; Martínez, A. (2013). Identificación de servicios ecosistémicos en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes. Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú.
5. Tchounwou, P., Yedjou, C., Patlolla, A., Sutton, D. J. (2012). Heavy Metal Toxicity and the Environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, 133–164. doi:10.1007/978-3-7643-8340-4_6
6. Tam, N; Wong, Y. (1996). Retention and distribution of heavy metals in mangrove soils receiving wastewater. *Environmental Pollution*, 94(3), 283–291. doi:10.1016/s0269-7491(96)00115-7
7. Petruzzelli, G., Pedron, F., Rosellini, I., Barbaferi, M. (2014). The Bioavailability Processes as a Key to Evaluate Phytoremediation Efficiency. *Phytoremediation*, 31–43. doi:10.1007/978-3-319-10395-2_3
8. Guo, T., Delaune, R., Patrick, W. (1997). The effect of sediment redox chemistry on solubility/chemically active forms of selected metals in bottom sediment receiving produced water discharge. *Spill Science and Technology Bulletin*, 4(3), 165–175. doi:10.1016/s1353-2561(98)00013-9
9. Gianni Antonio P., Francesca P., Irene R. (2020) Bioavailability and bioaccessibility in soil: a short review and a case study. *AIMS Environmental Science*, 7(2): 208-225. doi:

10.3934/environsci.2020013

10. Boening, D. (1999). An evaluation of Bivalves as biomonitors of heavy metals pollution in marine waters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 55, 459–470.
11. Durán, I., Fuentes, M., & Gómez, J. (2004). Concentración de cadmio, plomo y cobre en *Anadara tuberculosa* del manglar de la Isla Taborcillo, Punta Chame, República De Panamá. 6, 91–104.
12. Alongi, D. (2009). *The Energetics of Mangrove Forests*. 1st edition. Springer Netherlands. doi.org/10.1007/978-1-4020-4271-3.
13. Tam, N. (2006) Pollution Studies on Mangroves in Hong Kong and Mainland China. *The Environment in Asia Pacific Harbours*, 147–163. doi:10.1007/1-4020-3655-8_11
14. Rabenhorst, M., Hively, W., James, B. (2009). Measurements of Soil Redox Potential. *Soil Science Society of America Journal*, 73(2), 668. doi:10.2136/sssaj2007.0443
15. Pérez, A., Gutiérrez, D., Saldarriaga, M., Sanders, C. (2017). Hydrological controls on the biogeochemical dynamics in a Peruvian mangrove forest. *Hydrobiologia*, 803(1), 69–86. doi:10.1007/s10750-017-3118-2
16. Pérez, A., Gutiérrez, D., Saldarriaga, M., Sanders, C. (2018). Tidally driven sulfidic conditions in Peruvian mangrove sediments. *Geo-Marine Letters*. doi:10.1007/s00367-018-0549-3
17. Espinosa, L., Parra, J., Villamil, C. (2011) Determinación del contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los manglares de la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 40(1), 7-23. ISSN 0122-9761.
18. Martínez, A. (2014). Gestión sostenible de recursos naturales en el ecosistema de manglares de Tumbes: Análisis del territorio y diagnóstico socioeconómico. Informe técnico especial. Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú.

19. ParksWatch (2003) Perfil de Área Protegida – Santuario Nacional Manglares de Tumbes. Disponible en [URL]: https://www.parkswatch.org/parkprofiles/pdf/mtns_spa.pdf
Fecha de consulta: 17 de mayo de 2021
20. Zacarías, F., Burga, G., Mera, A. (2016) Informe técnico del primer monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de las cuencas del río Tumbes y Zarumilla (realizado del 28 de marzo al 01 de abril del 2016). Autoridad Nacional del Agua. Disponible en URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2887>
21. Puño Lecarnaqué, N. (2010) Plan de manejo Ambiental del Recurso Hídrico de la Cuenca del Río Puyango – Tumbes. [Universidad Nacional de Piura] Disponible en URL: http://archivo.uagraria.edu.ec/web/revistas_cientificas/7/021-2015.pdf
22. Roméo, M., Sidoumou, Z., Gnassia-Barelli, M. (2000). Heavy metals in various molluscs from the Mauritanian coast. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 65, 269–276. <https://doi.org/10.1007/s001280000124>
23. Boyden, C. (1974). Trace element content and body size in molluscs. *Nature*, 251, 311–314
24. Beliaeff, B., O'Connor, T. P., Daskalakis, D. K., & Smith, P. J. (1997). U.S. Mussel watch data from 1986 to 1994: Temporal trend detection at large spatial scales. *Environmental Science and Technology*, 31(5), 1411–1415. <https://doi.org/10.1021/es9606586>
25. Elder, J., Collins, J. (1991). Freshwater molluscs as indicators of bioavailability and toxicity of metals in surface-water systems. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 122, 37–79. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3198-1_2
26. Collaguazo-Collaguazo, Y., Ayala-Armijos, H., Machuca-Loja, G. (2017). Cuantificación de metales pesados en *Anadara tuberculosa* (Mollusca: Bivalvia) del estero Huaylá de Puerto Bolívar, por espectrofotetría de absorción atómica. *Revista Ciencia UNEMI*, 10(24), 1–10. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6430729>

27. Tobar, J., Ramírez-Muñoz, M., Fermín, I., & Senior, W. (2017). Concentración de Metales Pesados en Bivalvos *Anadara tuberculosa* y *A. similis* del Estero Huaylá, Provincia de el Oro. *Boletín Del Centro de Investigaciones Biológicas*, 51(1), 19–30.
28. Riofrío Jumbo, D. F. (2016). Biomonitorio de mercurio en bivalvo *Anadara grandis* en tres localidades de la región costera de la provincia de El Oro [Universidad Técnica de Machala]
29. Resolución Ministerial N° 681-95-PE. Diario Oficial de la República del Perú “El Peruano”, Lima, Perú, 19 de diciembre de 1995. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/per9070.pdf>
30. Burt, A., Maher, W., Roach, A., Krikowa, F., Honkoop, P., & Bayne, B. (2007). The accumulation of Zn, Se, Cd, and Pb and physiological condition of *Anadara trapezia* transplanted to a contamination gradient in Lake Macquarie, New South Wales, Australia. *Marine Environmental Research*, 64(1), 54–78. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2006.12.009>

Anexos

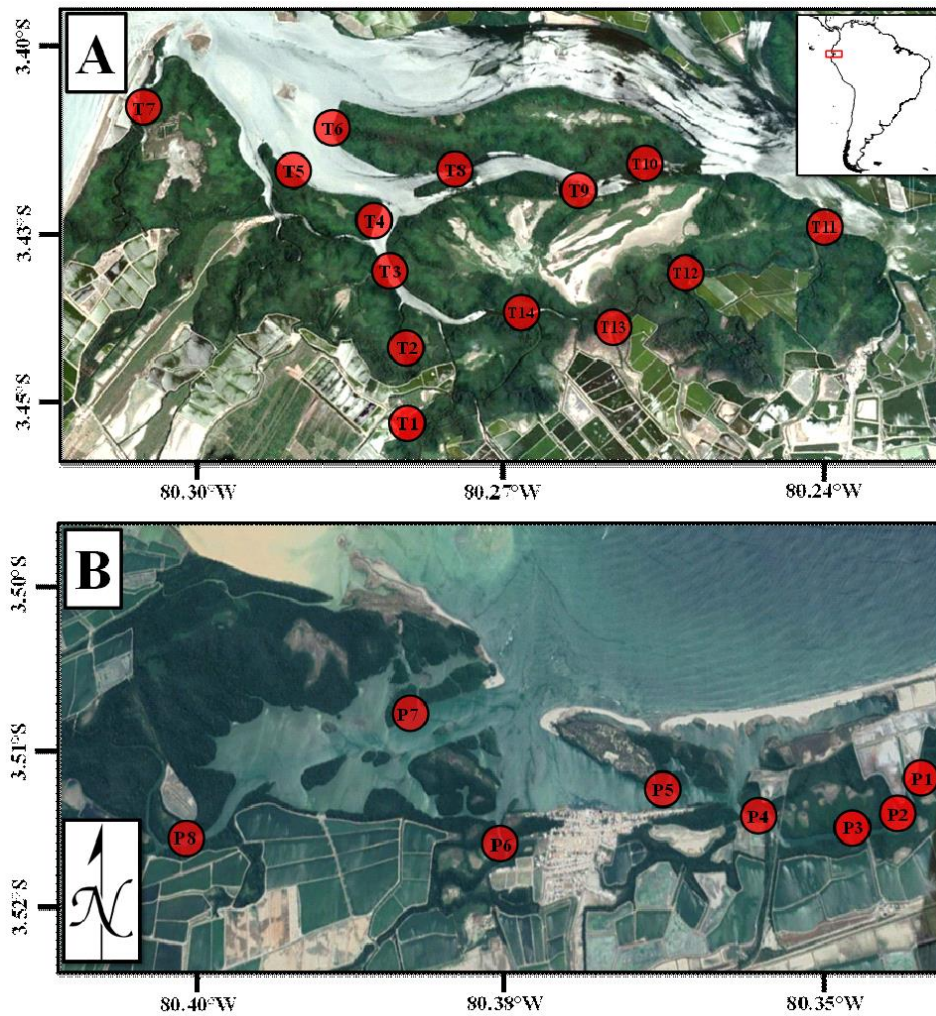


Figura 1. Puntos de muestreo en ambos manglares estuarinos. Panel A: Santuario Nacional Manglares de Tumbes. Panel B: Puerto Pizarro.