

Artificial Mussel: Una herramienta complementaria para el monitoreo de la contaminación por elementos traza en zonas costeras

Alma Chen y Kathia Broce

Facultad de Ciencias y Tecnología, Centro Regional de Veraguas,
Universidad Tecnológica de Panamá, Centro de Investigaciones Hidráulicas
e Hidrotécnicas
alma.chen@utp.ac.pa, kathia.broce@utp.ac.pa

Resumen: El Artificial Mussel (AM) fue desarrollado en la Universidad de Hong Kong, por los profesores Lau y Wu, con la finalidad de establecer una metodología que superara las limitaciones de los indicadores biológicos, para el monitoreo de metales traza en ambientes marinos. El AM es un dispositivo que consiste en un polímero ligando suspendido en agua marina artificial dentro de un tubo plástico, y encerrado por un gel semipermeable de ambos lados. El AM puede acumular y liberar metales en respuesta a la concentración de metales disueltos en el agua marina, permitiendo así la evaluación y comparación directa de la concentración de estos en el medio acuático en diversos ecosistemas. En el presente trabajo se hará una breve revisión acerca de la contaminación en zonas costeras por metales pesados y los programas de monitoreo, los indicadores de contaminación y la aplicación del Artificial Mussel como herramienta complementaria para el monitoreo de elementos traza en zonas costeras.

Palabras claves: Artificial Mussel, elementos traza, zonas costeras.

Title: Artificial mussel: a complementary tool for monitoring pollution by trace elements in coastal areas

Abstract: The "Artificial Mussel (AM)" was developed by professors Wu and Lau from the University of Hong Kong, in order to provide a methodology that overcomes the limitations of biological bioindicators for monitoring trace metals in marine environments. This device consists of a polymer ligand suspended in artificial sea water within a plastic tube, and a semipermeable gel enclosed on both sides. The AM can accumulate and release metals in response to the concentration of dissolved metals in seawater, allowing the evaluation and direct comparison of the concentration thereof in the aquatic environment in diverse ecosystems. This document is a brief overview about contamination of marine coastal areas due to heavy metals and monitoring programs, pollution indicators, and the application of the Artificial Mussel as a complementary tool for monitoring pollution of trace elements in coastal areas.

Key words: Artificial Mussel, trace elements, coastal areas.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 2 de julio de 2015

Fecha de aceptación: 3 de diciembre de 2015

1. Introducción

A nivel mundial, la creciente densidad de población y la rápida industrialización de las zonas costeras están afectando en gran medida la calidad del medio marino. La contaminación, la sobreexplotación y la baja protección amenazan con dañar aún más los ecosistemas marinos, lo que lleva a grandes problemas de salud pública y pérdidas económicas [1].

Los moluscos y otros organismos filtradores, han sido empleados por los ecologistas durante años como herramientas para el monitoreo de la contaminación marina y estuarina, debido a su capacidad de absorber y liberar metales a lo largo del tiempo, dando de esta forma una idea acerca de los cambios en la calidad del agua. Sin embargo, estos organismos son afectados por factores ambientales como la salinidad, la temperatura y biológicos como el tamaño, la edad reproductiva, y el sexo, así como por la disponibilidad de sitios de anclaje, limitándose de este modo su uso como biomonitor de contaminación [2].

Por lo tanto, los estudios de contaminación marina se benefician con la adopción y aplicación de tecnologías que proporcionen uniformidad en los resultados de bioacumulación de metal [3].

El *Artificial Mussel* (AM, por sus siglas en inglés) es un dispositivo de muestreo desarrollado por Wu et al. [2] con el objeto de proporcionar una metodología que superara las limitaciones presentadas por los indicadores biológicos, como lo son las estrategias de acumulación de contaminantes según la especie y la distribución biogeográfica de cada una de ellas. El AM es una herramienta alternativa para el monitoreo de la contaminación por metales o elementos traza en zonas costeras, debido a su capacidad de captación de metales en agua y liberación en soluciones ácidas, para posterior determinación [3].

En el presente artículo se hará una breve descripción del AM, su aplicación a nivel mundial, y sus usos en el monitoreo de la contaminación. Se presentará además, una comparación entre el AM, y otros indicadores de contaminación (moluscos bivalvos, agua y sedimentos) tradicionalmente empleados en estos tipos de estudios.

2. Contaminación marino costera y programas de monitoreo de la contaminación

El incremento acentuado del desarrollo industrial y el rápido crecimiento de las regiones aledañas a los mares están presionando de forma crítica a los recursos marino-costeros, por una parte debido a la contaminación, y por otra, por la sobreexplotación de estos recursos. En la actualidad, diversos ecosistemas de Panamá se han visto afectados a causa de las actividades humanas, generándose un problema ambiental,

especialmente en los ecosistemas marino-costeros. Estos ecosistemas proporcionan al hombre una amplia gama de servicios económicos, sociales y ambientales [4].

El impacto sobre las zonas costeras viene dado directamente por intensas actividades antropogénicas e indirectamente a través de la entrada de numerosos emisarios, los cuales contienen contaminantes de diversos orígenes (industriales, agrícolas, urbanos, etc.) [5]. Estas acciones son las principales causas del deterioro de la calidad del agua, y por ende, pueden inducir a efectos nocivos sobre los ecosistemas marino costeros [6], provocando además, un daño potencial a los consumidores de productos del mar debido a la contaminación de estos. Dada la gran preocupación por la conservación de los recursos marinos y costeros, países como Estados Unidos, han establecido programas de monitoreo de la contaminación en sus costas por más de tres décadas, siendo el "Mussel Watch Program", el programa de monitoreo continuo de más larga duración. Este programa ha sido apoyado y conducido por la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), y desde 1986 se han analizado más de 100 contaminantes químicos y biológicos en sedimentos marinos y tejido de bivalvos colectados en más de 300 sitios en las costas de los Estados Unidos y las aguas del Gran Lago, para describir el estado actual de la contaminación y detectar cambios en la calidad ambiental de estuarios y aguas costeras [7].

En el caso de Sudáfrica, la existencia de programas de biomonitoreo para determinar el destino e impacto de contaminantes inorgánicos a lo largo de sus costas, ha sido de corta duración, el último de estos programas fue reportado por el Comité Nacional Sudafricano para la Investigación Oceanográfica. En la actualidad, la mayoría de los monitoreos de contaminación marina efectuados en ese país, son realizados por las instituciones académicas [3].

En Panamá, se han tomado ciertas iniciativas a partir de la década pasada, en cuanto al monitoreo de contaminantes en las zonas costeras. Una de ellas comenzó con el proyecto de "Monitoreo de la Contaminación Marino Costera en el Pacífico Sur", este proyecto incluyó a Panamá y a todos los países de América del Sur con costas en el Pacífico (Colombia, Ecuador, Perú y Chile), y fue financiado por la Organización de Estados Americanos. Las contrapartes nacionales fueron la Autoridad Marítima de Panamá (AMP), a través de su entonces Dirección de Recursos Marinos y Costeros, y la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), siendo para ésta su brazo ejecutor dentro del Proyecto, el Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT), con la colaboración del antiguo Servicio Marítimo Nacional, hoy Servicio Nacional Aeronaval (SENAN).

Uno de los objetivos primordiales de este proyecto fue el monitoreo de las costas del Pacífico, para la determinación de hidrocarburos totales, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y plaguicidas organoclorados a partir del análisis de sedimentos marinos y organismos bivalvos presentes en las áreas de muestreo. En Panamá, se establecieron diversas

estaciones de monitoreo las cuales fueron ubicadas en el Golfo de Chiriquí, Golfo de Montijo, Bahía de Parita, Bahía de Panamá y Golfo de San Miguel. En cada una de estas estaciones se colectaron muestras de sedimentos marinos, y moluscos bivalvos de las especies *Anadara tuberculosa* y *Mytillus sp.* Es importante señalar que, al igual que en el *Mussel Watch*, se colectaron las especies que presentaron mayor abundancia y disponibilidad al momento del muestreo.

Otros proyectos que han incluido monitoreos continuos y colecta de sedimentos y bivalvos dentro de sus actividades, para la determinación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en zonas costeras, son los llamados Proyectos Nacionales, denominados por sus siglas de país PAN, 7002 y 7003, respectivamente. Ambos proyectos fueron financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA/OIEA), y tuvieron como objetivo el fortalecimiento de las capacidades nacionales para hacer frente a los problemas de contaminación que vulneran a los ecosistemas marino costeros, y por consiguiente, a las poblaciones aledañas que dependen de estos recursos para su subsistencia. El Proyecto PAN 7002: **Fortalecimiento de los Laboratorios de la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP) para el monitoreo de la contaminación marino costera**, fue desarrollado a comienzos de la presente década, estableciéndose estaciones de monitoreo a lo largo de toda la Bahía de Panamá; siendo estas 40 estaciones sedimentarias, 30 estaciones para colecta de aguas marinas y 2 estaciones de colecta de biota. En tanto que, el proyecto PAN 7003: **Monitoreo de la contaminación en Bahía de Panamá**, incorporó el uso de técnicas nucleares para la medición de la eficiencia hidráulica en plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, que pudiesen garantizar la calidad del agua que será vertida posteriormente a los cuerpos de agua, a fin de salvaguardar la integridad de los ecosistemas. El PAN 7002 fue ejecutado por la ARAP, en tanto que, en el PAN 7003, la ARAP contó con la participación de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), a través del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH), como socio estratégico.

La importancia de los programas de monitoreo continuos radica en proporcionar a los administradores costeros, tanto locales como regionales, información pertinente para facilitar la toma de decisiones que permita el uso y manejo sostenible de los recursos marino costeros, basados en resultados científicos.

El Estado debe establecer una Política Nacional para el monitoreo y análisis continuo de los niveles de contaminación, tanto orgánicos como inorgánicos, en ambas zonas costeras panameñas; ya que, no sólo la integridad de estos sistemas marino costeros y sus recursos pudiesen verse afectados notablemente debido a contaminación derivada de las actividades desarrolladas en áreas aledañas a las costas, sino que, esta realidad podría conducir hacia graves problemas de salud pública y seguridad alimentaria. Por otro lado, sin información científica veraz, el Estado panameño vería limitada su capacidad para la toma de decisiones, que le permita establecer políticas para el manejo sostenible de estos recursos.

Los monitoreos en las zonas costeras no deben estar sujetos a la ejecución de proyectos puntuales; de lo contrario, las autoridades competentes no podrían llevar un control y manejo adecuado de los recursos marino-costeros, ni tendrían el conocimiento suficiente para determinar los impactos que ejercen las actividades antropogénicas que presionan estas zonas costeras. Es de suma importancia establecer presupuestos dentro de las instituciones con esta competencia, ya sea en el recién creado Ministerio de Ambiente y/o la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá, o bien, otra posibilidad sería dotar a las instituciones académicas del recurso económico necesario para que puedan cumplir con estas labores de vigilancia, no sólo en beneficio del ambiente, sino también de la salud pública y de los sectores económicos que existen gracias a estos recursos.

3. Moluscos bivalvos y sedimentos marinos como indicadores de contaminación: ventajas y desventajas

Los invertebrados, especialmente los moluscos bivalvos, son organismos adecuados para el estudio de bioacumulación de contaminantes en seres vivos. Los moluscos son conocidos como filtradores del agua, acumulando de esta forma, altas concentraciones de múltiples contaminantes inorgánicos y orgánicos en sus tejidos [8]. En el caso de metales pesados, o elementos traza, estos pueden dar una estimación del tiempo integrado de la fracción biodisponible de los metales en el ambiente. Otras características que presentan estos organismos es que ocupan áreas dinámicas en hábitats cercanos a las desembocaduras de los ríos y están adaptados naturalmente al estrés ambiental [9]. Aun cuando el uso de organismos bivalvos, como indicadores de contaminación, tiene ciertas ventajas sobre los sedimentos y el agua, éstos son afectados por factores físicos (como la temperatura y la salinidad), y biológicos (como el tamaño, estado reproductivo, edad y género) [2]. Otro factor a considerar es la nutrición, por la influencia en la concentración de metales en los tejidos de los biomonitores afectando las tasas de afluencia de metales del agua y los alimentos, así como las tasas de excreción. La tasa de crecimiento de los biomonitores sucesivamente puede ser influenciada por el tamaño y edad del animal, el tipo de alimento, la disponibilidad de alimento, la presión de depredación y la competencia son factores limitantes que afectan el uso de estos organismos como indicadores de contaminación. Según lo señalado por Leung et al., la capacidad de bioacumulación de los contaminantes va a variar dependiendo de la especie y de la distribución biogeográfica, haciendo que las comparaciones espaciales, tanto locales como globales, sean prácticamente imposibles [10].

Es importante destacar que, debido a la influencia ejercida por las causas antes mencionadas, hay una alta probabilidad de que se obtengan conclusiones erróneas debido al enmascaramiento de las concentraciones de bioacumulación de los metales [11].

En Panamá las especies de moluscos bivalvos estudiados

en los proyectos de monitoreo, descritos anteriormente, para el análisis de contaminantes (orgánicos e inorgánicos) han sido, *Prototaca asperrima* (Bique, Panamá Oeste), *Mytillus* sp. (Salao en la Bahía de Parita y Golfo de San Miguel en Darién) y *Anadara tuberculosa* (Chinina en Panamá Este, Golfo de San Miguel en Darién y Golfo de Montijo en Veraguas). Se colectaron las especies que se encontraron disponibles al momento del muestreo.

Los sedimentos marinos son empleados con frecuencia en los programas de monitoreo como indicadores de la contaminación. La contaminación de éstos, causada por la deposición de productos químicos resultado de las actividades antropogénicas continúan siendo uno de los principales problemas ambientales. Por ejemplo, los derrames de aceites (contaminantes orgánicos) en los humedales son de particular preocupación debido al papel esencial que juegan estos al sostener la estructura y función de los ecosistemas y la biodiversidad a largo plazo [12]. Dichos contaminantes pueden presentarse por un corto tiempo en la columna de agua, siendo los sedimentos el sitio más importante para el almacenamiento de estos compuestos, permaneciendo en ellos por largos periodos [13]. Es por esto que, los sedimentos han sido y siguen siendo utilizados en los programas de monitoreo para la medición de determinados contaminantes en zonas muy concretas, dando una idea más clara a los investigadores del estado del sitio bajo observación.

Entre las ventajas del uso de sedimentos para el estudio de contaminantes se encuentra, el registro del promedio del flujo que entra a un estuario, por ejemplo. Estos registros son de gran ayuda para determinar futuras acciones en la administración y manejo de zonas costeras [14], como se había mencionado con anterioridad. Por otro lado, el análisis de muestras de sedimentos puede revelar los resultados de las precipitaciones atmosféricas a lo largo del tiempo, los valores básicos anteriores a la iniciación de actividades que dan origen al vertimiento de contaminantes, los resultados de un derramamiento de petróleo, una infiltración crónica, en el caso de los hidrocarburos, la contaminación crónica originada por una refinería o simplemente el resultado de los hidrocarburos asociados con las partículas que se depositan, como gránulos fecales, organismos muertos o vivos, minerales arcillosos y silicatados. A estas partículas se debe, por lo general, la remoción de los hidrocarburos de las columnas de agua. Además, los hidrocarburos del petróleo disueltos pueden ser absorbidos directamente por los sedimentos según su contenido de materia endógena, como por ejemplo, ácidos húmicos. En cuanto a los metales pesados, si bien, los sedimentos marinos pueden proporcionar una estimación del tiempo integrado del nivel de los metales, la desventaja de su uso radica de forma significativa, en el tamaño de la partícula, el contenido orgánico y las condiciones redox, los cuales no pueden ser estandarizados [15].

4. Artificial Mussel

El *Artificial Mussel* (AM) es un dispositivo químico diseñado para el muestreo de metales pesados o elementos trazas en ambientes marinos, fue desarrollado por los profesores Wu y Lau en 1996, con la finalidad de poder superar las limitantes presentadas por los bioindicadores en los programas y estudios de contaminantes inorgánicos. Éste consiste básicamente de un polímero ligando, el cual tiene gran afinidad y selectividad por un número de metales (incluyendo cobre, plomo, hierro, aluminio, cromo, etc.), suspendido en agua marina artificial, y encerrado en un pequeño tubo plástico con un gel permeable por ambos lados (Figura 1). La función principal del gel permeable es contener el polímero ligando en el tubo y controlar la tasa de captura del metal, permitiendo el paso lento de los iones metálicos a través de los poros antes de que estos sean quelados por la resina [10]. Esta captura de metales es proporcional a la concentración de los metales en el ambiente, e incluye también a la fracción biodisponible de éstos.

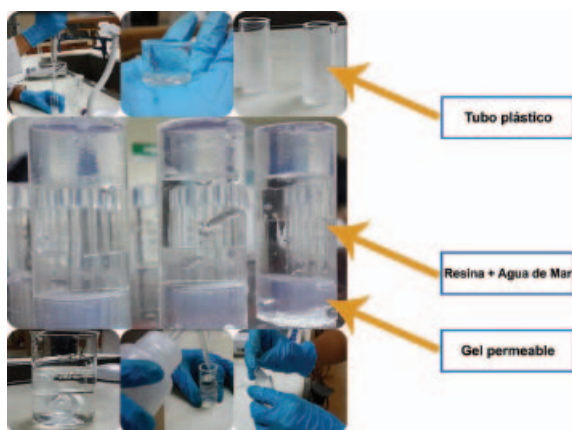


Figura 1. *Artificial Mussels*.

Mediante el empleo de AM se intenta eliminar el denominado ruido ambiental: las pequeñas variaciones en la medición de los contaminantes que introducen factores como la temperatura y salinidad cambiantes, la posible presencia de parásitos, el ciclo reproductivo o la disponibilidad de alimento (en el caso de los moluscos). Además, estos muestreadores inertes también permiten disponer de medidores sencillos de la contaminación en lugares estratégicos donde no existen poblaciones naturales de moluscos.

El AM se comporta de manera similar a los moluscos reales cuando se expone a una serie de metales, pero ofrece resultados más consistentes y fiables mediante la superación de todos los problemas asociados con los monitores biológicos mencionados anteriormente. Esto representa un avance realmente innovador en la detección de metales y vigilancia, y por primera vez, permite la comparación global de las concentraciones de metales.

Esta es una tecnología que está a la vanguardia en el análisis de contaminantes. Hay un gran potencial para que este tipo

de dispositivos se adopten a nivel mundial como herramientas costo-efectivas y confiables para monitorear mejor a los metales pesados presentes en el medio marino.

Es un dispositivo de fácil y rápida construcción, su manejo no requiere de cuidados especiales y permite su distribución en cualquier zona. Además, el procesamiento de las muestras de AM sólo requiere de una digestión ácida sencilla, para posteriormente proceder a la lectura mediante la utilización de métodos espectrométricos.

El AM ha sido usado con mucho éxito en Hong Kong, Escocia, en las aguas costeras de Islandia, y Sudáfrica. Estudios realizados en Portugal mostraron una alta correlación entre el AM y los moluscos, concluyéndose que el AM sirve como dispositivo pasivo para el monitoreo de las aguas costeras con diferente régimen hidrográfico y carga metálica [16].

5. Consideraciones finales

El AM se considera que es una herramienta conveniente para el estudio de la calidad ambiental debido a su fácil distribución en las zonas de estudio, por su capacidad de retención de metales, la eliminación del ruido ambiental y su capacidad de proporcionar datos especiales y temporales, que permiten hacer una comparación global de la concentración de metales en sitios determinados. Más aún, los resultados obtenidos a partir de esta tecnología pueden complementar la información generada a partir de los análisis de biota y sedimentos marinos, ampliando de esta forma el marco del conocimiento que permita la implementación de planes de gestión y manejo que preserven la sostenibilidad de estos ecosistemas.

Referencias

- [1] A. Tayeb, M. R. Chellali, A. Hamore and S. Debbah. "Impact of urban and industrial effluents on coastal marine environment in Oran, Algeria", *Marine Pollution Bulletin*, Article in Press, 2015.
- [2] R. S. S. Wu and T. C. Lau. "Polymer-ligands: a novel chemical devise for monitoring heavy metals in the aquatic environment", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 32, pp. 391-396, May. 1996.
- [3] N. Degger, V. Wepener, B. J. Richardson and R. S. S. Wu. "Application of artificial mussel (AMs) under South African marine conditions: A validation study", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 63, pp. 108-118, 2011.
- [4] A. Dell'Apa, A. Fullerton, F. Schwing and M. Brady. "The status of marine and coastal ecosystem-based management among the network of U. S. federal programs", *Marine Pollution Policy*, vol. 60, pp. 249-258, Oct. 2015.
- [5] I. Benali, Z. Boutiba, A. Merabet and N. Chèvre. "Integrated use of biomarkers and condition indices in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) for monitoring pollution and development of biomarker index to assess the potential toxic of coastal sites", *Marine Pollution Bulletin*, article in press, 2015.
- [6] S. Remili and A. Kerfouf. "Evaluation de la qualité physico-chimique et d niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral ouest algérien)", *Géographie Physique et Environnement*, vol. 7, pp. 69-86, 2013.
- [7] NOAA's Mussel Watch Program: Incorporating contaminants of

- emerging concern (CECs) into a long-term monitoring program, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 81, pp. 289-290, 2014.
- [8] L. Vidal-Linan, J. Bellas, J. A. Campillo and R. Beiras. "Integrated use of antioxidant enzymes in mussels, *Mytilus galloprovincialis*, for monitoring pollution in highly productive coastal areas of Galicia (NW Spain), *Chemosphere*, vol 78, 265-272, 2010.
- [9] L. E. Petes, B. A. Menges and G. D. Murphy. "Environmental stress decreases survival, growth and reproduction in New Zealand mussels, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 351, pp. 89-91, 2007.
- [10] K. M. Y. Leung, R. W. Furnes, J. Svavarsson, T. C. Lau and R. S. S. Wu. "Field validation, in Scotland and Iceland, of the artificial mussel for monitoring trace metals in temperate seas", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 57, pp. 790-800, 2008.
- [11] D. J. H. Phillips and P. S. Rainbow. *Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants*, New York: Chapman and Hall, 1994.
- [12] M. S. Fennessy, C. C. Brueske and W. J. Mitsch. "Sediment deposition patterns in restored fresh water wetlands using sediment traps", *Ecological Engineering*, vol. 4(4), pp. 409-428, Dec. 1994.
- [13] J. H. Vandermeulen and C. D. Gordon. "Reentry of 5 years old stranded bunker C fuel oil from a low energy beach into the water, sediments and biota in Chaudabucto Bay, Nova Scotia", *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, vol. 33, pp. 2002-2010, 1976.
- [14] Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), *Determinación de Hidrocarburos del Petróleo en los Sedimentos, Manuales y Guías*, UNESCO, 1982.
- [15] R. S. S. Wu, T. C. Lau, W. K. Fung, P. H. Ko and K. M. Y. Leung. "An artificial mussel for monitoring heavy metals in marine environments, *Environmental Pollution*, vol. 145 (1), pp.104-110, Jan. 2007.
- [16] M. González-Rey, T. C. Lau, T. Gomes, V. L. Maria, M. J. Bebianno and R. Wu. "Comparison of metal accumulation between Artificial Mussel and natural mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in marine environments", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 63, pp.149-153, 2011.