

Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: una revisión sobre los organismos utilizados

Biomonitors of coastal pollution with reference to the situation in the Mexican coasts: a review on the utilization of organisms

Federico Páez-Osuna¹ y Cristina Osuna-Martínez²

¹Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Mazatlán, Universidad Nacional Autónoma de México, P.O. Box 811, Mazatlán, Sinaloa, 82000. México

²Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán, Sinaloa
e-mail: paezos@servidor.unam.mx

Páez-Osuna F. & C. C. Osuna-Martínez. 2011. Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: una revisión sobre los organismos utilizados. *Hidrobiológica* 21(3): 229-238.

RESUMEN

Desde hace aproximadamente cuatro décadas se comenzaron a realizar estudios de monitoreo en los ambientes marinos y costeros utilizando organismos, generalmente moluscos bivalvos, como estrategia para tener un mejor conocimiento del grado de contaminación que prevalece en tales ecosistemas. Así, mediante el análisis de sus tejidos se han determinado la biodisponibilidad y las concentraciones de diversas sustancias (e.g., metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, radionúclidos, compuestos organoclorados, etc.). Además de los moluscos bivalvos, existen diferentes grupos de organismos que se han empleado para tales fines, los cuales presentan ciertas características idóneas para su uso como biomonitores. Sin embargo, los mejillones, ostiones y almejas son el grupo que mejor cumple con una gran parte de estas características y, por lo tanto, de los que existe un mayor número de trabajos publicados. En México, se ha aplicado también la estrategia del biomonitorio para evaluar la contaminación de la zona costera; se tienen identificadas varias especies que pueden ser utilizadas como biomonitores (e.g., *Crassostrea gigas*, *C. iridescens*, *C. corteziensis*, *C. palmula*, *C. virginica*, *Mytilus californianus*, *Mytella strigata*, *Megapitaria squalida*, *Chione californiensis*, *Rangia cuneata* y *Polymesoda caroliniana*), sin embargo, aún son relativamente pocos los trabajos que se han realizado (38 artículos de 1998 a 2010 en la base de datos Scopus de Elsevier) y hay, incluso, áreas de la zona costera en las que son inexistentes este tipo de estudios.

Palabras clave: Biomonitorio, zona costera, bivalvos, México.

ABSTRACT

Approximately, since four decades ago, the environmental monitoring began in the marine and coastal environments, utilizing organisms, usually bivalve molluscs as a strategy to know the degree of pollution that prevailed in such ecosystems. Thus, by means of the analysis of tissues have been established the bioavailability and the concentrations of contaminants introduced in such environments (e.g. heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, organochlorine compounds, etc.). Moreover of bivalve molluscs, there are different groups of organisms that have been used for such purposes, which have been demonstrated to have certain characteristics suitable for their utilization as biomonitors. However, mussels, oysters and clams constitute a group that meet much of these features, and, therefore, there is an increased number of papers in the literature about the use of this group of organisms. In Mexico, several research

groups have also used this biomonitoring strategy to evaluate the contamination of the coastal zone; various species have been identified to be used as biomonitors (e.g., *Crassostrea gigas*, *C. iridescens*, *C. corteziensis*, *C. palmula*, *C. virginica*, *Mytilus californianus*, *Mytella strigata*, *Megapitaria squalida*, *Chione californiensis*, *Rangia cuneata* and *Polymesoda caroliniana*), however, still relatively few studies have been conducted (38 papers from 1998 to 2010 in the Elsevier's Scopus database) and there are even areas of the coastal zone where such studies are inexistent.

Key words: Biomonitoring, coastal zone, bivalves, Mexico.

INTRODUCCIÓN

El concepto de monitoreo costero surge en los años sesenta y setenta con el programa "Mussel Watch", en los Estados Unidos (Goldberg, 1975; NAS, 1980). A partir de entonces se reconoció como una valiosa herramienta para evaluar el impacto de las actividades humanas sobre el medio marino. En el contexto de los biomarcadores, el biomonitoring se define como el uso sistemático de las respuestas biológicas que permiten evaluar los cambios en el entorno y establecer un programa de control de calidad ambiental (Torres *et al.*, 2008). En un contexto más general, el término se define como una técnica científica para evaluar los impactos ambientales, incluyendo la exposición humana a sustancias químicas naturales y sintéticas, con base en el muestreo y análisis de un individuo (Zhou *et al.*, 2008). Esta estrategia se basa en el conocimiento que se puede tener de los contaminantes que entran en el ambiente de un individuo, dejando en éste marcas que reflejan su exposición. El marcador puede ser la presencia del propio contaminante o la respuesta biológica específica de cualquier sistema del organismo que resulta de la acción de los tóxicos en el individuo.

En una revisión reciente Baqueiro-Cárdenas *et al.* (2007) presentan información sobre la respuesta de los moluscos a la contaminación y su rol como centinelas de la misma. Señalan por ejemplo, que la disminución del potencial reproductor, el estado fisiológico o índice de condición de las poblaciones son indicadores de la presencia de contaminantes. Sin embargo, no se discuten las ventajas entre diferentes organismos ni se especifican para las costas mexicanas las especies idóneas. A continuación se presenta una revisión sobre los diferentes organismos que son utilizados como biomonitores de la contaminación costera, haciendo énfasis en las estrategias más empleadas, ventajas y desventajas, características deseables de un biomonitor y con referencia a la situación de México.

METODOLOGÍA

Para tener un indicador del número de estudios realizados sobre el biomonitoring de la zona costera y marina de México de los últimos 13 años se efectuó una búsqueda mediante la base de datos de Elsevier Scopus (Scopus, 2011), acotando la búsqueda con varias combinaciones de las palabras clave "biomonitor", "monitor", "Mexico", "coastal zone", "coastal lagoon", "marine

environment", "estuarine environment". Además de incluir a las revistas clasificadas como indizadas, esta base de datos contiene artículos de revistas científicas de circulación regional y nacional no indizadas pero registradas en dicho sistema. Si bien no es completa dicha base de datos, si permite acceder a los trabajos más visibles en el área en el contexto internacional.

ESTRATEGIAS DE MONITOREO DE CONTAMINANTES

Las ventajas y desventajas de emplear organismos y otros componentes de los ecosistemas para el monitoreo de la contaminación acuática han sido discutidas por diversos autores; esto es, existen tres compartimentos generales en los cuales se pueden medir los niveles de contaminantes en los ambientes costeros y oceánicos: el agua, los sedimentos y la biota (Tabla 1) (Phillips & Rainbow, 1994; Rainbow, 1995). Además, en los últimos años se han desarrollado los dispositivos conocidos como "mejillones artificiales", con el propósito de evaluar también los niveles de contaminación, por ejemplo, de metales pesados en sitios donde no existen condiciones para trasplantar poblaciones naturales (Wu *et al.*, 2007). Las mediciones de la mayoría de las sustancias químicas orgánicas e inorgánicas en la columna de agua presentan problemas analíticos y de muestreo, ya que las concentraciones son frecuentemente más bajas que los límites de detección analítico y varían a lo largo del tiempo y con el ciclo de marea, entrada de agua dulce, estación del año, etc. (Goldberg *et al.*, 1978; Luoma & Rainbow, 2008). Los análisis en sedimentos superan algunas de esas desventajas: los metales, radionúclidos y otras sustancias orgánicas se asocian y acumulan particularmente en sedimentos finos ricos en materia orgánica y sus concentraciones son altas, fácilmente medibles y menos susceptibles a la contaminación accidental, incluso, los sedimentos ofrecen cierto grado de integración en el tiempo. Sin embargo, esta acumulación es afectada por las características propias de los sedimentos que varían geográfica y temporalmente (Phillips, 1980). La mayor desventaja de los sedimentos tiene que ver con el hecho de que al medir las concentraciones y especies químicas de metales, radioisótopos y sustancias orgánicas, no necesariamente se evalúa la disponibilidad biológica de éstos (Phillips, 1980). Finalmente, los contaminantes también son acumulados por muchos organismos marinos. Sus concentraciones son fácilmente medibles y proveen una medida de integración en el tiempo (semanas, meses o años), de

Tabla 1. Ventajas y desventajas de estrategias de monitoreo de contaminantes en diferentes matrices de ambientes acuáticos (Phillips & Rainbow, 1994; Wu *et al.*, 2007).

Estrategia	Ventajas	Desventajas
Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Obtención de valores base para calcular factores de bioconcentración en organismos 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades analíticas: concentraciones cercanas al límite de detección • Variaciones según el régimen de mareas, entradas de agua dulce, temporada del año, etc. • Se obtiene la concentración total del contaminante, no sólo la parte biodisponible • Muestras susceptibles a la contaminación accidental
Sedimento	<ul style="list-style-type: none"> • Obtención de valores base para calcular factores de bioconcentración en organismos • Niveles de concentración fáciles de cuantificar • Muestras poco susceptibles a la contaminación accidental • Ofrecen un grado de integración en el tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • La concentración de los contaminantes está en función de las características del tipo de sedimento (<i>e.g.</i> tamaño de partícula, materia orgánica, condiciones redox, etc.) • Se obtiene la concentración total del contaminante, no sólo la parte biodisponible
Dispositivos artificiales	<ul style="list-style-type: none"> • Se usan en áreas donde un mismo biomonitor no se distribuye • Provee una integración espacial y temporal de las concentraciones del contaminante • Pueden acumular metales en concentraciones ambientalmente relevantes • La captura y liberación del contaminante parece estar menos afectada por la salinidad y temperatura que algunas especies de mejillones • Las concentraciones no son afectadas por factores propios de los organismos (<i>e.g.</i> edad, sexo, etc.) • Aspecto ecológico (no se sacrifican organismos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Es efectivo para la captura de ciertos contaminantes (<i>e.g.</i> Cd, Pb y Zn) • Costo de producción de los dispositivos • No refleja exactamente la fracción biodisponible • Sólo se han usado para el análisis de algunos metales
Organismos	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles de concentración fácilmente cuantificables • Ofrecen un grado de integración en el tiempo • Conocimiento directo de la parte biodisponible 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia del organismo en el área de monitoreo • Variaciones por procesos fisiológicos, edad, sexo, etc. • Posible impacto en las poblaciones del biomonitor • Dificultades en la identificación de ciertas especies • No se pueden hacer intercomparaciones directas entre diferentes grupos de organismos

acuerdo a las especies analizadas; siendo una medida del contaminante biodisponible y así, se puede evaluar sin ambigüedad la fracción de éste y su relevancia directamente ecotoxicológica. Tales organismos son llamados biomonitores y se emplean ampliamente para establecer variaciones geográficas o temporales en las concentraciones biodisponibles de contaminantes en aguas costeras y estuarinas.

LA SELECCIÓN DE UN BIOMONITOR

La selección de un organismo o conjunto (suite) de organismos adecuado es uno de los principales retos en la elaboración de un estudio de biomonitorio. En cuanto a los organismos utilizados, un biomonitor ideal deberá presentar ciertas características deseables, además, es importante conocer aspectos como su forma

de alimentación, historia de vida, época de reproducción, estructura poblacional, etc. De acuerdo con Butler *et al.* (1971), Haug *et al.* (1974), Phillips (1980), Phillips & Rainbow (1994), Rainbow (1995), Tanabe & Subraimian (2003), Luoma & Rainbow (2008) y Zhou *et al.* (2008) entre las características deseables de un biomonitor están: (a) acumular altos niveles del contaminante; (b) tener forma de vida sésil/sedentaria o con migración corta dentro del área de estudio; (c) presentar amplia abundancia; (d) presentar amplia distribución (cosmopolitas); (e) ser longevo; (f) fácil de muestrear; (g) fácil de transportar y manipular; (h) presentar una buena relación dosis-respuesta; (i) estar disponible a lo largo del año; (j) presentar hábitos de alimentación simples; (k) soportar una amplia gama de condiciones climáticas y ambientales; (l) las especies deben ser bien conocidas a nivel taxonómico; (m) debe haber un buen conocimiento de su historia de vida y biología de la

especie; (n) los patrones de acumulación en el organismo objetivo, deben reflejarse también en algunas otras especies en el área de estudio; (o) el organismo debe ser preferentemente de importancia comercial y económica; (p) la adquisición (recolección y/o compra) de los organismos debe ser rentable; y (q) las muestras deben ser transportables a nivel internacional sin impedimentos legales.

Otro aspecto importante de tomar en cuenta, es el uso de especies cosmopolitas en su distribución geográfica (Rainbow, 1995), que permita monitorear grandes extensiones del litoral. De hecho, no es que haya un organismo correcto o incorrecto que pueda ser usado como biomonitor; sino que, la selección de tales especies debe hacerse de acuerdo al contaminante y sitio en particular que se requiere monitorear (Phillips, 1980). En la Tabla 2 se sintetizan las ventajas y desventajas del empleo de diferentes grupos de organismos biomonitores en ambientes acuáticos. Entre los grupos de organismos que destacan como biomonitores en ambientes costeros y marinos, se encuentran las macroalgas, pastos marinos, mejillones, ostiones, poliquetos y crustáceos (Rainbow & Phillips, 1993). Los moluscos bivalvos han sido utilizados para evaluar los niveles de contaminación en ecosistemas marinos, y algunas especies de mejillones y ostiones se han empleado exitosamente como biomonitores en aguas templadas (*e.g.* Nielsen & Nathan, 1975; Szefer, 2002) y tropicales (*e.g.* Phillips, 1979; Páez-Osuna *et al.*, 1993; 2002). Históricamente, los moluscos bivalvos, particularmente los mejillones, han sido seleccionados como biomonitores en programas internacionales de monitoreo ambiental (Goldberg, 1975; Goldberg *et al.*, 1978; Claisse, 1989; Tripp *et al.*, 1992; Tanabe, 1994; Sericano *et al.*, 1995; Ismail *et al.*, 2000). De igual forma, han sido empleados como importantes herramientas en programas regionales de biomonitorio, *e.g.* mejillones de mangle en el sur de Brasil (Torres *et al.*, 2002), mejillones y ostiones en Korea (Choi *et al.*, 1992; Shim, 2000; Ji *et al.*, 2006) y ostión de piedra en Hong Kong (Phillips, 1979).

BIOMONITOREO DE LOS COPS

Los compuestos orgánicos persistentes (COPs) se bioacumulan a través de la cadena alimenticia y pueden causar efectos adversos a la salud humana y en el ambiente. Inicialmente se consideraron 12 COPs, entre los que se incluían 9 plaguicidas (aldrin, clordano, DDT, dieldrin, endrin, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno), el grupo de los químicos industriales bifenilos policlorinados, y 2 subproductos (dioxinas y furanos). Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) representan también otra clase de COPs que posee el potencial de causar impactos negativos en los ecosistemas y en la salud humana (Rostami & Juhasz, 2011). Tanabe y Subramanian (2003) hicieron una revisión en particular de algunos organismos que han sido empleados para el biomonitorio de COPs y compararon las características de seis grupos de organismos (mejillones, calamares, peces, aves, mamíferos marinos y el hombre) respecto a su idoneidad como biomonitores de tales compuestos. De acuerdo a dicha revisión y las 17 características consideradas, los mejillones resultan ser los más idóneos y los mamíferos los menos.

MÉXICO Y EL BIOMONITOREO DE LA CONTAMINACIÓN COSTERA

En México existen varios estudios de biomonitorio realizados con diferentes grupos de organismos, *e.g.* macroalgas (Páez-Osuna *et al.*, 2000), balanos (Páez-Osuna *et al.*, 1999), camarones (Gold-Bouchot *et al.*, 2003; Frías-Espicueta *et al.*, 2005), peces (Ruelas-Inzunza *et al.*, 2008), aves (Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna, 2004), tortugas (Páez-Osuna *et al.*, 2010; 2011), entre otros. A partir de la búsqueda realizada de los estudios de biomonitorio en las zonas costeras de México se obtuvieron un total de 38 artículos publicados desde 1998 hasta 2010 (Fig. 1) y en el 32 % de ellos, se analizaron moluscos bivalvos; ya que, al igual que ocurre a nivel internacional, en México, los moluscos bivalvos han sido el gru-

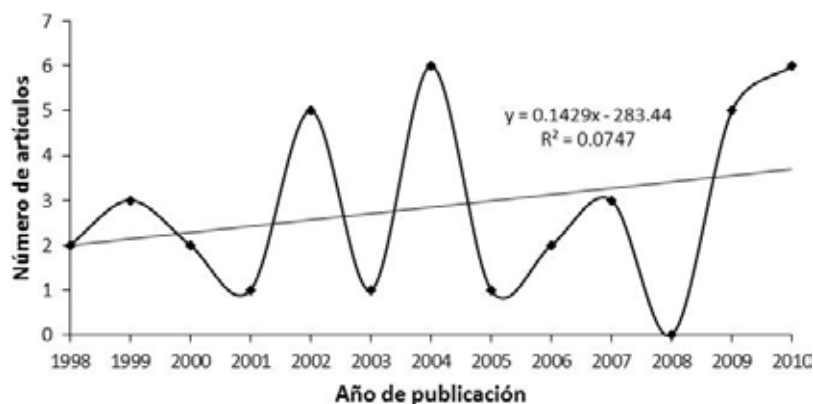


Figura 1. Artículos sobre el biomonitorio de contaminantes en las zonas marina y costera de México, publicados en los últimos 13 años.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de utilizar diferentes grupos de organismos biomonitores en ambientes acuáticos (Phillips & Rainbow, 1995; Tanabe & Subramanian, 2003; Zhou *et al.*, 2008).

Biomonitor	Ventajas	Desventajas
Fitoplancton	<ul style="list-style-type: none"> Las especies y cantidad de microalgas pueden reflejar directamente la calidad del cuerpo de agua Varias especies presentan amplia distribución 	<ul style="list-style-type: none"> Tamaño pequeño de los organismos Complejidad de las comunidades fitoplanctónicas Organismos no longevos Estacionalidad en la presencia de varias de las especies en los cuerpos de agua
Macroalgas	<ul style="list-style-type: none"> Varias especies presentan amplia distribución, <i>e.g.</i> los géneros <i>Ulva</i>, <i>Fucus</i>, <i>Sargassum</i> y <i>Enteromorpha</i> Buenos acumuladores de cadmio en solución 	<ul style="list-style-type: none"> Sólo acumulan metales disueltos (no particulado) No acumulan organoclorados (compuestos más asociados con particulados) Incertidumbre en la identificación de algunas especies, <i>e.g.</i> del género <i>Enteromorpha</i>
Pastos marinos	<ul style="list-style-type: none"> Organismos sésiles 	<ul style="list-style-type: none"> Su habilidad metabólica puede disminuir los efectos de contaminantes metálicos Pueden presentar diferentes tasas de crecimiento entre organismos de la misma especie, que viven en áreas diferentes
Poliquetos	<ul style="list-style-type: none"> Varias especies están ampliamente distribuidas La especie <i>Nereis diversicolor</i> Muller, 1776 ha sido ampliamente utilizada como biomonitor 	<ul style="list-style-type: none"> Problemas para la identificación de especies Algunas especies regulan la concentración de metales, <i>e.g.</i> <i>N. diversicolor</i>
Moluscos bivalvos: mejillones	<ul style="list-style-type: none"> Abundantes Longevos Talla adecuada Resisten el manejo en estudios de campo y laboratorio Sedentarios Estilo de vida y hábitos alimenticios sencillos Especies cosmopolitas, <i>e.g.</i> <i>M. edulis</i>, <i>M. galloprovincialis</i> y <i>Perna viridis</i> Linnaeus, 1758 Tolerantes a las fluctuaciones de parámetros físico-químicos (<i>e.g.</i> salinidad y temperatura) Eficientes acumuladores de varios contaminantes Alta acumulación de COPs Por su alimentación, acumulan tanto contaminantes disueltos en agua, como asociados con partículas suspendidas Presentan altos factores de bioconcentración de contaminantes Baja capacidad metabólica de contaminantes orgánicos 	<ul style="list-style-type: none"> Dificultad para identificar algunas especies, <i>e.g.</i> <i>Mytilus edulis</i> Linnaeus, 1758, <i>M. galloprovincialis</i> Lamark, 1819 y <i>M. trossulus</i> Gould, 1851 No son buenos acumuladores de zinc ni cobre (reguladores parciales de estos metales) Viven a lo largo de la costa, lo cual limita su uso para el biomonitoreo de áreas marinas remotas No son longevos
Moluscos bivalvos: ostiones	<ul style="list-style-type: none"> Sedentarios Especies cosmopolitas, <i>e.g.</i> <i>Ostrea edulis</i> Linnaeus, 1758 y <i>Crassostrea gigas</i> Son acumuladores de zinc (a diferencia de los mejillones) Las especies del género <i>Crassostrea</i> son relativamente fáciles de identificar Por su alimentación, acumulan tanto contaminantes disueltos en agua, como asociados con partículas suspendidas 	<ul style="list-style-type: none"> Viven a lo largo de la costa, lo cual limita su uso para el biomonitoreo de áreas marinas remotas

Tabla 2. (Continuación).

Biomonitor	Ventajas	Desventajas
Moluscos bivalvos: almejas	<ul style="list-style-type: none"> • Sedentarios (poca movilidad) • Concentran contaminantes asociados al sedimento • Algunas especies del grupo de los telínidos han sido ampliamente utilizadas como biomonitores, <i>e.g. Scrobicularia plana</i> De Costa, 1758 y <i>Macoma balthica</i> Linnaeus, 1758 	<ul style="list-style-type: none"> • Presentan restricciones en su distribución a nivel mundial, <i>e.g.</i> Familia Telinidae, lo que limita su valor como biomonitores • Dificultades en la identificación de algunas especies
Moluscos: calamares	<ul style="list-style-type: none"> • Los compuestos organoclorados reflejan los niveles en el ambiente acuático donde y cuando los especímenes fueron muestreados • Son carnívoros pero de hábitos alimenticios simples • Importantes comercialmente y fácilmente disponibles • Disponibilidad de varias especies relacionadas • Fácil manejo 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de vida corto • Presentan desplazamiento
Crustáceos: Artemiidae	<ul style="list-style-type: none"> • Abundancia en sus poblaciones • Amplia distribución (cosmopolitas) 	<ul style="list-style-type: none"> • No son longevos • Tamaño del organismo
Crustáceos: Daphniidae	<ul style="list-style-type: none"> • Responden a la presencia de metales y plaguicidas en su ambiente, <i>e.g.</i> cambios en el crecimiento, fertilización, comportamiento, etc. • Amplia distribución (cosmopolitas) 	<ul style="list-style-type: none"> • No son longevos • Tamaño del organismo
Crustáceos: balanos	<ul style="list-style-type: none"> • Especies cosmopolitas, <i>e.g. Balanus amphitrite</i> Darwin, 1854 y <i>Balanus uliginosus</i> Utinomi, 1967 • Sedentarios • Son fuertes acumuladores de metales • Amplio uso como biomonitores • Capturan tanto metales disueltos en agua, como de las partículas en suspensión 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas con la nomenclatura e identificación de algunas especies
Crustáceos: Anfípodos	<ul style="list-style-type: none"> • Accesibilidad en el muestreo • Amplia distribución, <i>e.g. Platorchestia platenses</i> Kroyer, 1845 • Acumulan tanto metales en solución como los que ingieren en su alimento • Algunas especies son buenas acumuladoras de metales, <i>e.g.</i> cobre y zinc • No se ha observado que el ciclo de muda tenga efectos en la concentración de metales 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades en la identificación de especies (presencia de diferentes especies que cohabitan)
Peces	<ul style="list-style-type: none"> • Talla corporal relativamente grande • Presentan un ciclo de vida largo • Están en la posición tope de las cadenas alimenticias acuáticas: pueden afectar más directamente la salud humana, lo que implica mayor relevancia para su uso • Importancia económica • Fácil manejo y disponibilidad • Numerosas especies en varios nichos ecológicos • Antecedentes de estudios de biomonitoreo disponibles • Poca capacidad metabólica, comparativamente 	<ul style="list-style-type: none"> • Presentan movilidad • Se requieren periodos experimentales relativamente largos y costosos que limitan su uso en procedimientos de biomonitoreo • Diferentes hábitos alimenticios y alimentación oportunista • Diferencias en función del sexo

Tabla 2. (Continuación).

Biomonitor	Ventajas	Desventajas
Aves	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede utilizar como monitores de contaminación a nivel mundial • Antecedentes de estudios de monitoreo disponibles • Variedad de especies disponibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Presentan desplazamientos, sus migraciones limitan su uso en programas de biomonitoreo en áreas determinadas • Hábitos alimenticios variados • Alta capacidad metabólica de los COPs • Diferencias en función del sexo • Problemas éticos y legales
Mamíferos marinos	<ul style="list-style-type: none"> • Alta capacidad de bioacumulación de contaminantes acuáticos • Elevadas reservas de lípidos • Indican cambios temporales y estacionales a largo plazo • Gran volumen de muestra de los diferentes tejidos y órganos • Son longevos 	<ul style="list-style-type: none"> • Presentan desplazamientos • Baja susceptibilidad a cambios a corto plazo de los COPs • Capacidad metabólica • Grandes diferencias en función del sexo • Dificultades de muestreo • Tamaño de cuerpo grande • Problemas éticos y legales
Humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Socialmente relevante • Se pueden obtener muestras no destructivas • Se pueden obtener datos/niveles base precisos • Fácil disponibilidad de voluntarios • Fácil manejo de personas 	<ul style="list-style-type: none"> • No todos los tejidos están disponibles en todo momento • Problemas éticos, legales, sociales y religiosos • Desplazamiento • Diferentes hábitos alimenticios • Diferencias en función del sexo • Diferencias en función del tipo de hábitat • Alta capacidad metabólica

COPs = compuestos orgánicos persistentes.

po de organismos más usados como biomonitores. Entre éstos, se destacan los ostiones (Botello *et al.*, 2002; Páez-Osuna *et al.*, 2002) y mejillones (Gutiérrez-Galindo, 1980; Lares *et al.*, 2002). En el noroeste de México en la década de los ochenta fue utilizada *Chione californiensis* Broderip, 1835 como biomonitor por Gutiérrez-Galindo *et al.* (1988) y un poco antes por Nuñez-Esquer (1975). En el Golfo de México se ha empleado el ostión americano *Crasostrea virginica* Gmelin, 1791 por Gold-Bouchot *et al.* (1997). Si bien, se han utilizado diferentes especies de ostiones, mejillones y almejas para estudios locales (Tabla 3), no todas las especies cumplen con el requisito deseable de tener una distribución cosmopolita a lo largo de la zona costera de México.

Entre las especies con más amplia distribución a nivel regional (Fig. 2) y con las cuales se han generado una serie de estudios a lo largo del tiempo cuyos resultados sirven como valores base para potencialmente establecer un programa de biomonitoreo de largo alcance, se encuentran: *Mytilus californianus* Conrad, 1837 en el Pacífico de la Península de Baja California (1), *Crasostrea corteziensis* Hertlein, 1951 en el Pacífico Mexicano (4) y *C. virginica* en el Golfo de México (5). Sin embargo, es importante reconocer que, en este sentido, se tienen todavía grandes necesidades de investigación, ya que existen regiones con una gran extensión del territorio donde no se han realizado estudios que permitan proponer especies como biomonitores. En particular, ambas franjas costeras de la Península de Baja California (2), la

región del Alto Golfo de California (3), la región costera Peninsular de Yucatán (6), así como el Caribe Mexicano (7). Existe también más de 900 islas e islotes en el Golfo de California donde

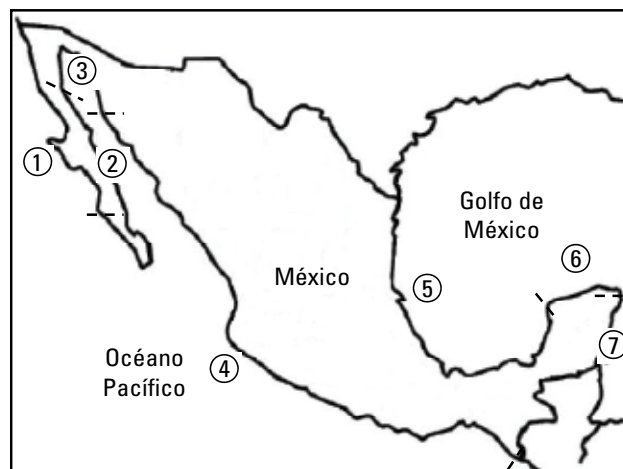


Figura 2. Distribución, en distintas regiones marinas de México, de especies de moluscos con uso potencial para el biomonitoreo costero de la contaminación. 1. Franja costera W de la Península de Baja California, 2. Franja costera E de la Península de Baja California, 3. Región del Alto Golfo de California, 4. Pacífico Mexicano, 5. Golfo de México, 6. Región costera Peninsular de Yucatán, 7. Caribe Mexicano.

Tabla 3. Especies de moluscos bivalvos (ostiones, mejillones y almejas) que han sido empleados en el biomonitoreo de la contaminación de las costas mexicanas.

Organismos	Especie presente en las costas mexicanas	Región donde se distribuye (y/o donde se hizo el estudio)
Ostiones	<i>Crassostrea gigas</i>	Especie introducida (Golfo de California) ^d
	<i>Crassostrea iridescens</i> Hanley, 1854	Golfo de California-Perú ^a (Golfo de California) ^d
	<i>Crassostrea corteziensis</i>	Golfo de California-Panamá ^a (Golfo de California) ^d
	<i>Crassostrea palmula</i> Carpenter, 1857	Golfo de California-Ecuador ^a (Golfo de California) ^d
	<i>Crassostrea virginica</i>	Canadá-Yucatán, México ^b (Golfo de México) ^e
Mejillones	<i>Mytilus edulis</i>	Especie introducida (Golfo de California) ^c
	<i>Modiolus modiolus</i> Linnaeus, 1758	Especie introducida (costa oriental de Baja California, México) ⁱ
	<i>Modiolus capax</i> Conrad, 1837	California, EUA-Perú ^a (Golfo de California) ^j
	<i>Mytella strigata</i> Hanley, 1843	Sonora, México-El Salvador ^a (Golfo de California) ^d
	<i>Mytilus californianus</i>	(Baja California, México) ^g
Almejas	<i>Megapitaria squalida</i> Sowerby, 1835	Baja California, México-Perú ^a (Golfo de California) ^c
	<i>Chione californiensis</i>	California, EUA-Panamá ^a (Golfo de California) ^c
	<i>Rangia cuneata</i> Sowerby, 1831	Golfo de México ^f
	<i>Polymesoda caroliniana</i> Bosc, 1801	Golfo de México ^h

^aKeen (1971); ^bGastolf (1964); ^cCadena-Cárdenas *et al.* (2009); ^dBotello *et al.* (2002); ^eGuzmán-García *et al.* (2009); ^fGold-Bouchot *et al.* (1993); ^gLares *et al.* (2002); ^hRuelas-Inzunza *et al.* (2009); ⁱGutiérrez-Galindo *et al.* (1999).

no se tiene información referente a la flora y fauna de la zona infralitoral.

Por otra parte, es importante generar información sobre los niveles básicos o de referencia de las concentraciones que acumulan las especies de ambas costas (Pacífico mexicano y Golfo de México) para poder efectuar estudios comparativos. Para ello, se tendrá que emplear el análisis de correlación simple entre los contenidos de los COPs, metales y metaloides de las especies involucradas y, mediante las ecuaciones obtenidas, se tendrán que hacer las comparaciones entre diferentes sitios. En este contexto, recientemente, se evaluó la correlación de los niveles de acumulación de mercurio entre los ostiones *Crassostrea corteziensis* y *C. gigas* Thunberg, 1793 (Osuna-Martínez *et al.*, 2010) recolectados en un mismo sitio, así mediante una simple ecuación se pueden comparar los niveles de este metal con una u otra especie.

A manera de conclusión se recomienda efectuar un inventario sobre los recursos malacológicos de la zona costera del país, particularmente de los polos de desarrollo turístico e industrial y aquellos sitios que no han sido significativamente afectados por el hombre, de tal manera que nos permita establecer los niveles básicos de los compuestos orgánicos, radioisótopos, metales y metaloides presentes en los organismos y que también pueden representar un riesgo para la salud del ambiente. El estudio taxonómico nos permitiría complementar la información para así recomendar las especies a utilizar como biomonitores de la calidad ambiental según la zona estudiada.

AGRADECIMIENTOS

A los revisores por sus valiosas sugerencias que ayudaron a mejorar la versión original. A G. Ramírez Reséndiz y a M.C. Ramírez Jáuregui por su colaboración en la preparación del trabajo. Este trabajo fue apoyado por el proyecto PAPIIT IN210609.

REFERENCIAS

- BAQUEIRO-CÁRDENAS, E. R., L. BORABE, C. G. GOLDARACENA-ISLAS & J. RODRÍGUEZ-NAVARRO. 2007. Los moluscos y la contaminación. Una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 1s-7s.
- BOTELLO, A. V., C. GARCÍA-RUELAS & G. PONCE-VÉLEZ. 2002. PAH levels in bivalve mollusks from the Mexican subtropical Pacific. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 69: 486-493.
- BUTLER, P. A., L. ANDRÉN, G. J. BONDEN, A. JERNELOV & D. J. REISH. 1971. Monitoring organisms. In: (M. Ruivo, Ed.) *Food and Agricultural Organization technical conference on marine pollution and its effects on living resources and fishing*. Rome, 1970. Supplement 1: *Methods of detection, measurements and monitoring of pollutants in the marine environment*. Fishing News (Books). London pp. 101-112.
- CADENA-CÁRDENAS, L., L. MÉNDEZ-RODRÍGUEZ, T. ZENTENO-SAVÍN, J. GARCÍA-HERNÁNDEZ & B. ACOSTA-VARGAS. 2009. Heavy metal levels in Marine Mollusks from areas with, or without, mining activities along the Gulf of California, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 57 (1): 96-102.

- CLAISSE, D. 1989. Chemical contamination of French coasts: the results of a ten years mussel watch. *Marine Pollution Bulletin* 20: 523-528.
- GASTOLF, P. S. 1964. The American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin). *Fishery Bulletin, fish and wildlife service. U.S.* 64: 1-480.
- GOLD-BOUCHOT, G., T. SILVA-HERRERA & O. ZAPATA-PÉREZ. 1993. Chlorinated pesticides in the Rio Palizada, Campeche, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 26 (11): 648.
- GOLD-BOUCHOT, G., M. ZAVALA-CORAL, O. ZAPATA-PÉREZ & V. CEJA-MORENO. 1997. Hydrocarbon concentrations in oysters (*Crassostrea virginica*) and recent sediments from three coastal lagoons in Tabasco, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 59 (3): 430-437.
- GOLDBERG, E. D. 1975. The mussel watch. A first step in global marine monitoring. *Marine Pollution Bulletin* 6 (7): 111.
- GOLDBERG, E. D., BOWEN, V. T., FARRINGTON, J. W., HARVEY, G., MARTIN, J. D., PARKER, P. L., RISEBROUGH, R. W., ROBERTSON, W., SCHNEIDER & E., GAMBLE, E. 1978. The mussel watch. *Environmental Conservation* 5: 101-125.
- GUTIÉRREZ-GALINDO, E. A. 1980. Distribution and variation of DDT levels in *Mytilus californianus* on the northwest coast of lower California. *Revue Internationale d'Océanographie Médicale* 58: 59-67.
- GUTIÉRREZ-GALINDO, E. A., G. FLORES-MUÑOZ & J. A. VILLAESCUSA. 1988. Hidrocarburos clorados en moluscos del valle de Mexicali y Alto Golfo de California. *Ciencias Marinas* 14 (3): 91-113.
- GUTIÉRREZ-GALINDO, E. A., J. A. VILLAESCUSA-CELAYA & A. ARREOLA-CHIMAL. 1999. Bioaccumulation of metals in mussels from four sites of the coastal region of Baja California. *Ciencias Marinas* 25 (4): 557-578.
- GUZMÁN-GARCÍA, X., A. V. BOTELLO, L. MARTÍNEZ-TABCHE & H. GONZÁLEZ-MÁRQUEZ. 2009. Effects of heavy metals on the oyster (*Crassostrea virginica*) at mandinga lagoon, Veracruz, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 57 (4): 955-962.
- HAUG, A., S. MELSOM & S. OMANG. 1974. Estimation of heavy metal pollution in two Norwegian fjord areas by analysis of the brown alga *Ascophyllum nodosum*. *Environmental Pollution* 7: 179-192.
- ISMAIL, A., C. K. YAP, M. P. ZAKARIA, S. TANABE & H. TAKADA. 2000. Green-lipped mussel *Perna viridis* as a biomonitoring agent for heavy metals in the west coast of Peninsular Malaysia. In: M. Shariff, F. M. Yusoff, N. Gopinath, H. M. Ibrahim & A. Nik Mustapha (Eds.), *Towards sustainable management of the Straits of Malacca, technical and financial options*. Malaysia: Malacca Straits Research and Development Centre (MASDEC), University Putra pp. 553-559.
- KEEN, A. M. 1971. *Sea Shells of tropical West America: marine mollusks from Baja California to Peru*. Stanford University Press. Stanford 1064 p.
- LARES, M. L., G. FLORES-MUÑOZ & R. LARA-LARA. 2002. Temporal variability of bioavailable Cd, Hg, Zn, Mn and Al in an upwelling regime. *Environmental Pollution* 120 (3): 595-608.
- LOBEL, P. B., S. P. BELKHODE, S. E. JACKSON & H. P. LONGERICH. 1990. Recent taxonomic discoveries concerning the mussel *Mytilus*: implications for biomonitoring. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 19 (4): 508-512.
- LUOMA, S. N. & P. S. RAINBOW. 2008. Metal contamination in aquatic environments. *Science and lateral management*. Cambridge University Press. 573 p.
- N.A.S. 1980. The International Mussel Watch. National Academy of Sciences: Washington, D.C. 226 p.
- NIELSEN, S. A. & A. NATHAN. 1975. Heavy metal levels in New Zealand molluscs. *New Zealand Journal of Marine Freshwater Research* 9: 467-481.
- NÚÑEZ-ESQUER, O. 1975. Concentración de DDT en *Chione californiensis* de la parte norte del Golfo de California. *Ciencias Marinas* 1 (2): 6-13.
- PÁEZ-OSUNA, F., J. I. OSUNA-LÓPEZ, G. IZAGUIRRE-FIERRO & H. M. ZAZUETA-PADILLA. 1993. Heavy metals in clams from a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 50: 915-921.
- PÁEZ-OSUNA, F., J. RUELAS-INZUNZA & H. BOJÓRQUEZ-LEYVA. 1999. Regional variations of Heavy Metals in soft and hard tissues of barnacles from the Subtropical Pacific coast of Mexico. *Environment International* 25 (5): 647-654.
- PÁEZ-OSUNA, F., M. J. OCHOA-IZAGUIRRE, H. BOJÓRQUEZ-LEYVA & I. L. MICHEL-REYNOSO. 2000. Macroalgae as biomonitors of heavy metal availability in coastal lagoons from the Pacific Subtropical of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 64 (6): 846-851.
- PÁEZ-OSUNA, F., RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C., BOTELLO, A. V., PONCE-VÉLEZ, G., OSUNA-LÓPEZ, J. I., FRÍAS-ESPERICUETA, M. G., LÓPEZ-LÓPEZ, G. & H. M. ZAZUETA-PADILLA. 2002. Concentrations of selected trace metals (Cu, Pb, Zn), organochlorines (PCBs, HCB) and total PAHs in mangrove oysters from the Pacific coast of Mexico: an overview. *Marine Pollution Bulletin* 44: 1303-1308.
- PÁEZ-OSUNA, F., M. F. CALDERÓN-CAMPUZANO, M. F. SOTO-JIMÉNEZ & J. RUELAS-INZUNZA. 2010. Lead in blood and eggs of the sea turtle *Lepidochelys olivacea* from the Eastern Pacific: concentration, isotopic composition and maternal transfer. *Marine Pollution Bulletin* 60: 433-439.
- PÁEZ-OSUNA, F., M. F. CALDERÓN-CAMPUZANO, M. F. SOTO-JIMÉNEZ & J. R. RUELAS-INZUNZA. 2011. Mercury in blood and eggs of the sea turtle *Lepidochelys olivacea* from a nesting colony in Oaxaca, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 62: 1320-1323.
- PHILLIPS, D. J. H. 1979. The rock oyster *Saccostrea conglomerate* as an indicator of trace metals in Hong Kong. *Marine Biology* 53: 353-360.
- PHILLIPS, D. J. H. & P. S. RAINBOW. 1994. *Biomonitoring of trace aquatic contaminants*. Ed. Chapman and Hall, Boca Raton, Florida 371 p.
- PHILLIPS, D. J. H. 1980. *Quantitative aquatic biological indicators*. Applied Science Publishers. London, 488 p.

- RAINBOW, P. S. & D. J. H. PHILLIPS. 1993. Cosmopolitan biomonitors of trace metals. *Marine Pollution Bulletin* 26: 593-601.
- RAINBOW, P. S. 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 31 (4-12): 183-192.
- ROSTAMI, I. & A. L. JUHASZ. 2011. Assessment of persistent organic pollutant (POP) bioavailability and bioaccessibility for human health exposure assessment: a critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 41 (7): 623-656.
- RUELAS-INZUNZA, J. R. & F. PÁEZ-OSUNA. 2004. Trace metals in tissues of resident and migratory birds from a lagoon associated with an agricultural drainage basin (SE Gulf of California). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 47 (1): 117-125.
- RUELAS-INZUNZA, J. R., P. SPANOPOULOS-ZARCO & F. PÁEZ-OSUNA. 2009. Cd, Cu, Pb and Zn in clams and sediments from an impacted estuary by the oil industry in the southwestern Gulf of Mexico: concentrations and bioaccumulation factors. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/hazardous Substances and Environmental Engineering* 44 (14): 1503-1511.
- SCOPUS. 2011. <http://www.scopus.com> (30 mayo 2011).
- SERICANO, J. L., T. L. WADE, T. J. JACKSON, J. M. BROOKS, B. W. TRIPP, J. W. FARRINGTON, L. D. MEE, J. W. READMAN, J. P. VILLENEUVE & E. D. GOLDBERG. 1995. Trace organic contamination in the Americas: an overview of the US National Status & trends and the International "Mussel Watch" programmes. *Marine Pollution Bulletin* 31: 24-225.
- SMITHSONIAN MARINE STATION AT FORT PIERCE. 2008. Consulta: 12 de mayo de 2011. http://www.sms.si.edu/irlspec/Crassostrea_virginica.htm
- SZEFER, P. 2002. Metal pollutants and radionuclides in the Baltic Sea - an overview. *Oceanología* 44 (2): 129-178.
- TANABE, S. 1994. International Mussel Watch in Asia-Pacific phase. *Marine Pollution Bulletin* 28 (9): 518.
- TANABE, S. & A. SUBRAMANIAN. 2003. Bioindicators suitable for monitoring POPs in developing countries. *STAP Workshop on the use of bioindicators, biomarkers and analytical methods for the analysis of POPs in developing countries*. 10-12 December, 2003. Tsukuba, Japan, 133 p.
- TORRES, M. A., M. P. BARROS, S. C. G. CAMPOS, E. PINTO, S. RAJAMANI, R. T. SAYRE & P. COLEPICCOLO. 2008. Biochemical biomarkers in algae and marine pollution: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 71: 1-15.
- TRIPP, B. W., J. W. FARRINGTON, E. D. GOLDBERG & J. SERICANO. 1992. International Mussel Watch: the initial implementation phase. *Marine Pollution Bulletin* 24: 371-373.
- WU, R. S. S., T. C. LAU, W. K. M. FUNG, P. H. KO, & Y. LEUNG. 2007. An "artificial mussel" for monitoring heavy metals in marine environments. *Environmental Pollution* 145: 104-110.
- ZHOU, Q., J. ZHANG, J. FU, J. SHI & G. JIANG. 2008. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica Chimica Acta* 606: 135-150.

Recibido: 03 de junio de 2011.

Aceptado: 09 de noviembre de 2011.