

Poliquetos (Annelida: Polychaeta) como indicadores biológicos de contaminación marina: casos en Colombia.

Polychaetes (Annelida: Polychaeta) as biological indicators of marine pollution: Colombian cases.

Vanessa Fernández Rodríguez*
Mario H. Londoño Mesa**

Fecha de recepción: 17 de octubre de 2014

Aceptación: 20 de abril de 2015

Recibido versión final: 7 de abril de 2015

Resumen

El concepto de *Indicador Biológico* ha sido usado sin mayor precaución al momento de emplear ciertos organismos en programas de monitoreo ambiental, lo cual genera confusión. Uno de los objetivos de este trabajo fue resaltar la importancia en la consolidación de una definición precisa de este concepto a partir de información disponible, proponiendo una definición para el mismo. Las características ecológicas de los poliquetos permiten que, al estar en contacto permanente con diferentes tipos de contaminantes, respondan bioacumulando, disminuyendo o aumentando su abundancia, según sea la especie, hecho que posiciona este tipo de organismos como potenciales indicadores de contaminación marina. En este artículo se presenta de manera concreta un análisis de la literatura disponible para poliquetos en el campo de los indicadores biológicos, resaltando cómo éstos han sido usados en diferentes metodologías, con ejemplos a internacionales, así como una selección especial para Colombia. De los resultados más sobresalientes se encontró que *Capitella capitata* es la especie más estudiada al estar asociada con ambientes contaminados a causa del incremento de materia orgánica y es la única

* Bióloga, profesional asociada a Grupo de Limnología Básica y Experimental y Biología y Taxonomía Marina, LimnoBasE y Biotamar, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia. Nacionalidad: colombiana. Email: vannebiol@gmail.com.

** Dr. Sc. Profesor asistente y director del grupo de investigación, Grupo de Limnología Básica y Experimental y Biología y Taxonomía Marina, LimnoBasE y Biotamar, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia. Nacionalidad: colombiano. Email: hernan.londono@udea.edu.co.

especie reportada en el país como indicador biológico usando las técnicas clásicas de bioindicación. Finalmente, se reitera la importancia de iniciar investigaciones sobre los aspectos ecológicos, ecotoxicológicos y bioensayos de laboratorio con otras especies de poliquetos para validar cuáles especies y por qué pueden ser consideradas como indicadores biológicos para el país.

Palabras clave

Bioacumulación, biomarcadores, *Capitella capitata*, eutrofización, metales pesados

Abstract

The concept *Biological Indicator* has been used carelessly when employing certain organisms in environmental monitoring programs, which creates confusion. One of the aims of this paper is highlighting the importance of consolidating a precise definition of this concept based on available information, and at the same time, to propose a definition. The ecological features of polychaetes allow them to respond by bioaccumulating, decreasing or increasing its abundance (depending on the species) when they are in permanent contact with different types of pollutants, this fact has positioned polychaetes as indicators of marine pollution. This document presents a compilation of available literature for polychaetes in the field of biological indicators, showing how they have been used in different methodologies. We include international examples and a special compilation about the Colombian case. Results show that *Capitella capitata* is the most studied species because it is frequently associated with polluted environments due to the increase of organic matter. It is the only species in Colombia considered as Biological Indicator according to the classical bioindication techniques. Finally, it is important to carry out more research on the ecological and ecotoxicological aspects of other species of polychaetes and to execute laboratory bioassays in order to evaluate which species could be considered in the country as biological indicators.

Keywords

Bioaccumulation, biomarkers, *Capitella capitata*, eutrophication, heavy metals.

Introducción

Los poliquetos son gusanos segmentados, principalmente marinos, aunque también existen especies dulceacuícolas y unos pocos terrestres asociados a ambientes húmedos. Los poliquetos marinos tienen principalmente hábitos bentónicos, aunque algunos son pelágicos. Su abundancia, riqueza de especies, formas de alimentación y gran permanencia en el bentos hace que sean excelentes indicadores de perturbación ambiental, pues el sedimento atrapa y almacena contaminantes temporalmente; de esta forma, los poliquetos y otros organismos

bentónicos presentes en este sustrato, deben resistir perturbaciones ambientales (por ejemplo, aumento de la materia orgánica suspendida, o disminución del oxígeno disuelto) (Salazar-Vallejo 2000). No obstante, algunas especies de poliquetos han demostrado una elevada resistencia a contaminantes orgánicos, por lo que se convierten en candidatos óptimos para experimentos ecotoxicológicos (Dean 2008).

Este trabajo intenta, en primer lugar, definir claramente el concepto de *Indicador Biológico*, puesto que ha sido usado sin restricciones, lo que ha ocasionado

que su significado no sea claro, afectando directamente el conocimiento de las condiciones que estos organismos pueden indicar. Por lo tanto, el uso de especies indicadoras ha sido confuso, además porque hay diferentes términos para el mismo, como son *oportunistas* o *tolerantes* (Méndez et al. 1998). Posteriormente se presenta a los poliquetos como indicadores de contaminación ambiental. El objetivo fundamental de este trabajo es consolidar una definición clara y precisa sobre el concepto de Indicador Biológico, a la vez que se ofrece una recopilación de algunos reportes en los cuales los poliquetos han sido utilizados como indicadores de perturbación ambiental a nivel mundial. Al final se presenta una reseña sobre el estado del arte en las investigaciones de poliquetos como indicadores biológicos en Colombia.

Metodología

Se realizó una revisión exhaustiva de literatura disponible en bases de datos (Scielo, Current Contents, Science Direct, Dialnet). Además, se solicitó información personal a investigadores que se han especializado en el tema de indicadores biológicos y el uso de los poliquetos. La selección y evaluación de los documentos presentados se basan en tres criterios principales: i) artículos de investigación, divulgación, cartillas, manuales y libros publicados, tanto impresos como virtuales, a partir de 1980; ii) literatura que intenta definir el concepto de *Indicador Biológico*; y iii) literatura que presenta a los poliquetos como indicadores de perturbación ambiental en sistemas marino costeros.

La problemática

Debido al rápido desarrollo en las últimas décadas de la industria marino costera en cercanías a ecosistemas estratégicos como arrecifes de coral, bosques de manglar y fanerógamas marinas, ha surgido la necesidad de determinar el nivel de deterioro de dichos ecosistemas; por lo tanto, se han desarrollado técnicas y metodologías que favorecen el control ambiental casi en tiempo real (Salazar-Vallejo 2000). Una de las metodologías más destacadas incluye el

uso de organismos resistentes o sensibles a diferentes tipos de perturbación ambiental, que se denominan *Indicadores Biológicos*, *Bioindicadores* (Hawksworth et al. 2005) o *Biomonitores* (Pérez-Osuna y Osuna-Martínez 2011). Estos términos son usados de manera indistinta; sin embargo, se ha encontrado que la palabra “indicador” tiene diferentes significados para diferentes investigadores (Jones y Kaly 1996). Por ejemplo, para Valente et al. (2006), los “indicadores” son organismos que ayudan a medir el grado de contaminación mediante la bioacumulación. Para otros investigadores son organismos que miden las concentraciones subletales de los estresantes químicos (van der Oost et al. 2003). Para efectos de este documento, el término usado será *Indicador Biológico*.

Indicador Biológico: concepto, selección y uso.

Polanía (2010) se refiere a un *Indicador Biológico* como una especie de planta o animal que muestra cambios de presencia/ausencia y una condición y/o comportamiento particular, proporcionando información sobre la salud de un ecosistema cuando éste es sometido a una tensión. La tensión o estrés ambiental, sin importar los factores que la causen, ocasiona cambios cuantitativos y cualitativos en la estructura y el funcionamiento de las comunidades. Por lo general, los *cambios estructurales* pueden ser medidos a través del análisis de la diversidad de especies y/o su composición, mientras que los *cambios funcionales* pueden ser identificados midiendo la actividad fotosintética o las tasas de crecimiento y fecundidad, que no requieren la frecuencia de medición de los cambios estructurales.

Los indicadores biológicos ayudan a la simplificación y síntesis de datos complejos, facilitando la transmisión de la información para el público interesado, incluyendo los propios usuarios del recurso, la prensa y los tomadores de decisión (Dauvin et al. 2010). La idea fundamental que sustenta el concepto de *Indicador Biológico* es que los organismos o grupos seleccionados brinden, expresen o integren información sobre su hábitat. Una vez conocido esto, podrán ser una alternati-

va rápida y económica para evaluar los impactos sobre la biota (Martínez-Quiroga 2009). Por su parte, INVERMAR (2002) sostiene que uno de los elementos claves en el diseño del sistema de indicadores es la definición del nivel de organización biológica y su relación con la escala geográfica de trabajo. Los indicadores biológicos se eligen por ser fáciles de identificar, ser sensibles a determinado tipo de impacto y por responder al estrés de forma inequívoca (Dale y Beyeler 2001; Goodsell et al. 2009). Sin embargo, existen preguntas que deben ser planteadas en el momento de utilizar dicha metodología: ¿Cuáles organismos deberían ser indicadores? y ¿qué debería indicar un “indicador”? (Carignan y Villard 2002).

Indicadores biológicos en sistemas acuáticos

Los indicadores biológicos acuáticos han sido asociados directamente con la calidad del agua más que con procesos ecológicos o con su distribución geográfica, sin que ello impida utilizarlos en tales circunstancias (Mason 1984). Según Pinilla (1998) un indicador biológico acuático es aquel cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita, en especial si tales fenómenos constituyen un problema de manejo del recurso hídrico. Así, un indicador biológico será aquel que logre resistir los efectos ocasionados por el elemento perturbante, es decir, que sea tolerante. Para el mismo autor, un buen indicador biológico debe ser aquel que: i) presente una fácil colección y cuantificación; ii) se relacione con el efecto que se desea indicar; iii) posea una amplia información biológica y ecológica; iv) presente condiciones estenoicas; v) tenga una calidad intrínseca (debe ser importante); y vi) posea una identidad taxonómica estable a nivel de especie, o la categoría taxonómica a la cual el taxón sea sensible.

Para Giménez-Casalduero (2001) un indicador biológico acuático efectivo debe ser aquel que: i) presente una fácil colección y cuantificación; ii) sea sensible a pequeñas variaciones en los niveles de contaminación; iii) tenga amplio rango geográfico; y iv)

su gradiente ecológico debe ser independiente de las fluctuaciones demográficas naturales.

Por otra parte, Jones y Kaly (1996) mencionan que un buen indicador biológico acuático debe tener: i) una abundancia relativa que pueda ser comparativa y extrapolada a la comunidad biológica de la cual está siendo referente; ii) capacidad de resiliencia que otorgue mayor sensibilidad a ensayos toxicológicos; iii) ciclo de vida extenso, lo cual permitirá estudios de variabilidad en reproducción y tamaño corporal al estar expuestos por mayor tiempo a los efectos contaminantes; y iv) ser especies cosmopolitas preferentemente.

En el caso de los invertebrados marinos, principalmente bentónicos, su uso como indicadores de la calidad y/o condición ambiental (Borja et al. 2000) tiene varias ventajas: i) debido a que presentan escasa movilidad, son más sensibles a perturbaciones físicas y químicas locales; ii) las asociaciones bentónicas incluyen diversas especies que exhiben distintos grados de tolerancia al estrés; iii) responden rápidamente a las perturbaciones, aun considerando niveles taxonómicos supra-específicos, como géneros, familias y hasta clases; y iv) integran la historia reciente de disturbios, que no es detectada en otras agrupaciones biológicas, tales como las comunidades pelágicas (Muniz et al. 2013).

La selección de los indicadores biológicos más apropiados depende entonces de los objetivos de una evaluación particular o de un programa de monitoreo, pues pueden variar según el estado de los ecosistemas, la estructura del lugar y las condiciones socioeconómicas y políticas. No obstante, se debe tener en cuenta que ninguna especie indicadora satisface todos los requerimientos (Polanía 2010). Particularmente para los poliquetos es difícil encontrar una especie única que pueda ser considerada como indicador biológico en un ambiente bentónico degradado, porque cada región geográfica parece responder de forma propia a las condiciones ambientales, al igual que sus especies. De esta manera se crea la necesidad de testear la viabilidad y efectividad de cada especie de poliqueto que sea considerado como candidato a indicador biológico (Borges-Rocha et al. 2013)

Finalmente, basados en la consolidación de la información arriba expuesta y la adición de un nuevo criterio, consideramos que un buen indicador biológico para sistemas acuáticos debe: i) presentar una fácil recolección y cuantificación; ii) relacionarse con el efecto a indicar; iii) poseer una amplia información biológica y ecológica; iv) tener un ciclo de vida extenso; v) presentar condiciones estenoicas; vi) tener escaso movimiento; y vi) poseer una identidad taxonómica estable al menor nivel taxonómico posible.

Los poliquetos: indicadores biológicos de contaminación

Muchas especies diferentes han sido empleadas como indicadores biológicos (algas bentónicas, peces, crustáceos); sin embargo, las más usadas son los poliquetos y los gasterópodos (Giménez-Casalduero 2001).

Los poliquetos juegan un papel importante en el funcionamiento de las comunidades bentónicas no sólo por su abundancia, sino también por la reutilización de los sedimentos marinos y compactación de materia orgánica (Hutchings 1998), por lo tanto es importante conocer las principales variables ambientales que rigen su distribución espacial. Para Méndez (2007) las variables ambientales responsables de la forma en la que se distribuyen los poliquetos son la profundidad, el oxígeno disuelto y la temperatura. Por su parte, Delgado-Blas (2001) y del Pilar Ruso et al. (2011) consideran que otra variable importante para la distribución de los poliquetos es el tamaño del grano de sedimento, ya que de éste dependen la porosidad del sustrato, el contenido de agua intersticial y las concentraciones de gases y nutrientes. No obstante, Díaz-Jaramillo et al. (2008) sostienen que particularmente para las especies de la familia Spionidae, la salinidad es la variable ambiental que controla su diferenciación espacial.

Otra razón por la cual los poliquetos son excelentes indicadores biológicos es que pueden recibir constantemente pequeñas cantidades de contaminantes como cianuro, cinc, aluminio, vanadio y plomo, los cuales en algunas ocasiones y dependiendo de la especie, asimilan en forma acumulativa en sus tejidos, sirviendo

de conexión entre los diferentes niveles de la cadena trófica (Borja et al. 2000; Muniz et al. 2013). Tal es el caso de las especies *Arenicola marina* (Arenicolidae) (Casado-Martínez et al. 2009; Casado-Martínez et al. 2010), *Hediste diversicolor* (Nereididae) (Berthet et al. 2003), *Neanthes succinea* (Nereididae) (Volpi-Ghirardini et al. 1999) *Nereis diversicolor* (Nereididae) (Durou et al. 2005), *Perinereis cultrifera* (Nereididae) (Volpi-Ghirardin et al. 1999) y *Paraprionospio pinnata* (Spionidae) (Muñoz y Salamanca 2001).

Algunas especies de poliquetos son indicadores biológicos de contaminación por materia orgánica (Surugiu 2005), la cual es causante de la eutrofización de los sistemas acuáticos a raíz de vertidos urbanos, actividades ganaderas y agrícolas (Jiménez-Cisneros 2001); estas especies presentan una correlación positiva entre el nivel de materia orgánica y su abundancia local (Méndez y Green-Ruiz 1998). Las especies más reconocidas por ser indicadoras de este tipo de contaminación son *Capitella capitata* (Capitellidae), *Scolelepis* (Malacoceros) *fuliginosus* (Spionidae) (Méndez et al. 1998), *Ophryotrocha shieldsi* (Dorvilleidae) (Paxton y Davey 2010; MAGAZINE 2013), *Paraprionospio pinnata* y *Polydora ligni* (Spionidae) (Méndez et al. 1998). Estas especies, al ser resistentes o tolerantes, proliferan rápidamente en el nicho que otras especies han dejado por causa de la presión ambiental (Solís-Weiss 2010). Es importante resaltar que para algunos investigadores estas especies pueden ser también catalogadas como oportunistas (Samuëlson 2001; Paxton y Davey 2010).

Particularmente, *C. capitata* ha sido considerada como el modelo de Indicador Biológico por ser una especie tipo "r", presentar una correlación directa con la cantidad de materia orgánica (Rivero et al. 2005) e hidrocarburos (Paredes 2010). De manera general, se ha encontrado a *C. capitata* asociada a las especies oportunistas *Nereis caudata* (Nereididae) y *Scolelepis fuliginosa* (Spionidae) (Méndez 1993). Por su parte, Ibáñez et al. (1984) y Raz-Guzmán (2000) han enlistado diferentes especies de poliquetos que se usan constantemente como indicadores biológicos de diferentes tipos de contaminación (Tabla 1).

TABLA 1. Especies de poliquetos indicadoras de contaminación

Familia	Especie	Indicador (Raz-Guzmán 2000)	Indicador (Ibáñez et al. 1984)
Capitellidae	<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	MO; colonizadora y oportunista	BS; CG
	<i>Capitita ambiseta</i> (Hartman, 1947)	MO	
	<i>Decamastus gracilis</i> (Hartman, 1963)	H	
	<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)	MO	
Cirratulidae	<i>Aphelochaeta multiformis</i> (Moore, 1909)	H	
	<i>Chaetozone setosa</i> (Malmgren, 1867)	MO	
Cossuridae	<i>Cossura brunea</i> (Fauchald, 1972)	AC; especie eurihalina	
Eunicidae	<i>Nematoneis unicornis</i> (Grube 1840)	MO	
	<i>Lumbrineris tenuis</i> (Verrill, 1873)	H	
Glyceridae	<i>Glycera alba</i> (Müller, 1776)	MO	
	<i>Nephtys incisa</i> (Malmgren, 1865)	H	
Nereididae	<i>Neanthes japonica</i> (Izuka, 1980)	AR	
	<i>Neanthes virens</i> (Sars, 1835)		CG
	<i>Nereis arenaceodentata</i> (Moore, 1903)	H	
	<i>Nereis diversicolor</i> (Müller, 1776)		BS; CG
	<i>Micronereis variegata</i> (Claparède, 1863)		Con diferentes requerimientos
	<i>Perinereis nuntia vallata</i> (Grube, 1857)	MO; AD	
	<i>Stenonereis martini</i> (Wesenberg-Lund, 1958)	ANOX y HIPOX	
Opheliidae	<i>Armandia brevis</i> (Moore, 1906)	MO	
	<i>Ophelina acuimata</i> (Örsted, 1843)	H	
Paranoidae	<i>Aricidea simplex</i> (Day, 1963)	H	
Pilargidae	<i>Paradalia ocularis</i> (Emerson y Fauchald, 1971)	HA, Ni, V	
	<i>Sigambra bassi</i> (Hartman, 1945)	HA	
Serpulidae	<i>Ficopomatus enigmaticus</i> (Fauvel, 1923)		BS; CG
Spionidae	<i>Polydora cornuta</i> (Bosc, 1802)	MO	
	<i>Scolelepis fuliginosa</i> (Claparède, 1870)	MO	CG

Materia Orgánica (MO), Hidrocarburos (H), Hidrocarburos Aromáticos (HA), Níquel (Ni), Vanadio (V), Aguas Residuales (AR), Aguas de Drenaje (AD), Anoxia (ANOX), Hipoxia (HIPOX), Contaminación General (CG), Baja Salinidad (BS), Ambientes Contrastantes (AC).

Fuente: Ibáñez et al. (1984) y Raz-Guzmán (2000).

En la Tabla 1 se observa que la mayoría de las especies consideradas indicadoras son de carácter sedentario. Según Méndez (1997), los estudios de estos poliquetos indican que existe una variación en los patrones de distribución asociados a una combinación de varios factores ambientales, lo cual provee información sobre gradientes de contaminación en términos de la segregación de los poliquetos respecto a los contenidos del material contaminante. Esta idea es reforzada por los hallazgos de Rivero et al. (2005) en un estudio realizado en el puerto del Mar del Plata (Argentina), revelando que los poliquetos *Aglaophamus uruguayi* y *Mediomastus* sp. se encontraron en zonas de menor o ningún grado de contaminación, mientras que *C. capitata* se encontró en las zonas con mayor contaminación por materia orgánica. Luego, Kuk-Dzul et al. (2006) encontraron una relación entre la comunidad de poliquetos y las variables ambientales en la bahía de Chetumal (México). Las familias más abundantes fueron, en su orden, Spionidae, Nereididae, Capitellidae y Pilargidae, de las cuales Raz-Guzmán (2000) tiene señaladas como indicadoras de contaminación por materia orgánica a por lo menos alguna especie de cada familia.

Del Pilar Ruso et al. (2008) determinaron el grado de afección del vertido de aguas residuales de origen doméstico sobre las comunidades de poliquetos asociados a fondos blandos en San Pedro del Pinatar (España). Detectaron dos grupos de especies, el primero caracterizado por una mayor proporción de lodo y materia orgánica, dominado por las familias Paraonidae, Lumbrineridae y Cirratulidae; y un segundo grupo, dominado por la familia Syllidae en sedimentos heterogéneos. Es importante destacar que los síldos son organismos considerados por Musco et al. (2004) y Giangrande et al. (2005) como indicadores de calidad, debido a que son altamente sensibles a la contaminación pues responden disminuyendo su abundancia o incluso desapareciendo. Finalmente, Ferrando et al. (2010) definieron “zonas perturbadas” en Puerto Madryn (Argentina) utilizando la dominancia

de los poliquetos indicadores de contaminación *Boccardia polybranchia* y *C. capitata*, los cuales se encontraron asociados a altos valores de amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y materia orgánica en los sedimentos submareales.

Por su parte, Brown et al. (2000) sostienen la idea de que algunos poliquetos pueden ser indicadores de contaminación debido a su sensibilidad y no a su resistencia, pues en un estudio sobre el hábitat y estructura del bentos de la parte norte del golfo de México, encontraron que la especie más abundante fue *Mediomastus californiensis*, excepto en estaciones de muestreo contaminadas con DDT y PAH.

Formulación de índices ambientales usando poliquetos

Algunos autores han utilizado especies de poliquetos para formular índices ambientales con el fin de evaluar y controlar los cambios en la estructura bentónica. Por ejemplo, Cañete et al. (2000) propusieron un índice de vigilancia ambiental (IVA) basado en la variación temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos: *Nephtys impressa* (Nephtyidae) y *Priospio peruana* (Spionidae). El IVA tiene como objetivo disminuir el dinero invertido y tiempo de análisis de las muestras bentónicas, proveyendo información del estado de las comunidades bentónicas del área de interés. Particularmente, *N. impressa* se encontró asociada a sedimentos con bajo porcentaje de materia orgánica y *P. peruana* en sedimentos enriquecidos con materia orgánica.

Amezcuza-Allieri y González-Macías (2007) realizaron un índice integrando parámetros de sedimento derivados de la caracterización granulométrica, mineralógica, química, biológica y toxicológica, además del contenido de ni y v en el río Pánuco (México), con el fin de evaluar la calidad del sedimento. Dentro de la caracterización biológica se encontró gran cantidad de larvas de poliquetos, las cuales colonizan superficies con características nutritivas muy especiales. De esta forma, para la realización del índice, usaron las larvas como un objetivo biológico para evaluar la efectividad del índice.

Técnicas de biomonitorio ambiental: bioensayos y biomarcadores

De las nuevas técnicas de monitoreo ambiental surgen los bioensayos de toxicidad con materiales contaminantes y el uso de biomarcadores enzimáticos o moleculares sobre organismos susceptibles, como los poliquetos.

Bioensayos de toxicidad

Los bioensayos, o ensayos de toxicidad, son una metodología que evalúa los efectos de los contaminantes sobre los organismos. La técnica se basa en la exposición de los organismos a determinada concentración de tóxico por un tiempo previamente fijado. Los organismos deben estar adecuados a las condiciones de laboratorio y disponer de un grupo de control (Markert y Wünschmann 2010).

Bioensayos con poliquetos han sido realizados por Peraza y Delgado-Blas (2011), quienes determinaron experimentalmente la toxicidad de cuatro formulaciones de detergentes domésticos biodegradables usando *Laeonereis culveri* (Nereididae). Los bioensayos de toxicidad aguda demostraron que *L. culveri* fue sensible a los detergentes de tipo LAS, por un periodo de exposición de 48 horas. Los autores recomendaron realizar más estudios con esta especie y exponerla a diferentes tóxicos para determinar si puede ser usada como herramienta para la evaluación de riesgos ambientales por detergentes domésticos y como indicador de la calidad del agua de la bahía de Chetumal (México).

Ramos et al. (2012) evaluaron la toxicidad de sedimentos potencialmente impactados por el Centro Refinador Paraguaná (Venezuela) utilizando bioensayos de toxicidad crónicos. Se usaron larvas del camarón *Litopenaeus vannamei* y poliquetos adultos de *Scolelepis texana* (Spionidae) durante 28 días y 10 días, respectivamente. Los sedimentos aledaños a la refinería tuvieron concentraciones relativamente elevadas de hidrocarburos totales (>10,000 ppm), así como de metales pesados (Cr, Ni y Zn) y presencia de hidrocarburos policíclicos aromáticos (SPAHS > 1.000 ppb). Las concentraciones medias de metales

(como el Cr y el Zn) en los sedimentos impactados fueron mayores que las concentraciones medias registradas para otras especies de poliquetos utilizados como bioindicadores, como *Nereis virens* (Nereididae) y *Pectinaria californiensis* (Pectinariidae) (Reish y Gerlinger 1997).

Por último, Zapata-Víenes (2012) realizó bioensayos en presencia de Cd, peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y una fracción acuosa de lubricantes usados de motores de vehículos en el poliqueto *Eurythoe complanata* (Amphinomidae). Esta especie presentó la habilidad de acumular metales pesados en su región corporal posterior, con una alta capacidad metabólica y de defensas antioxidantes hacia la región corporal media.

La gran ventaja de los bioensayos es que permiten conocer la concentración media letal a la cual un 50 % de los organismos expuestos a determinado contaminante pueden morir, además de que posibilita evaluar la inmovilidad, inhibición del crecimiento de la población y/o la alteración del comportamiento de los organismos que son sometidos a diferentes factores de estrés contaminante.

Biomarcadores

Los biomarcadores son medidas a nivel molecular, bioquímico o celular que sugieren que los organismos estudiados han estado en contacto con contaminantes, generalmente sustancias xenobióticas (van der Oost et al. 2003). Recientemente, este tipo de estudios ha tomado mucha fuerza en el campo de la bioindicación con poliquetos, debido a la relativa facilidad de mantener estos organismos en condiciones de laboratorio, ya que no ocupan mucho espacio, se reproducen con facilidad y su alimentación es simple.

Existe una diversidad de especies marinas a las cuales se les ha evaluado la respuesta oxidativa frente a diferentes tipos y gradientes de contaminación, como lo son *A. marina*, *C. capitata*, *Enchytraeus albidus*, *E. complanata*, *Perinereis rullieri* y *Sabella spallanzanii* (Jae-Sung et al. 2012). No obstante, algunos investigadores como Jae-Sung et al (2007) y Fu-hong y Qi-Xing (2008) han demostrado que los nereididos *Neanthes succinea* y *Nereis diversicolor*

responden con mayor facilidad al estudio de biomarcadores; por ejemplo, estudiaron la capacidad antioxidante de las enzimas glutatión S-transferasa, superóxido dismutasa y catalasa de *N. succinea* y *N. diversicolor* respectivamente, demostrando que estos organismos son sensibles al estrés oxidativo en ambientes estuarinos. Particularmente, se han identificado genes en *Perinereis nuntia* (Nereididae) relacionados con la defensa de las células, los cuales son potencialmente útiles para el monitoreo de sedimentos a nivel molecular (Jae-Sung et al. 2012).

Es importante resaltar que para Latinoamérica solo los organismos de *Laeonereis acuta* (Nereididae) han sido estudiados por Ferreira-Cravo et al. (2009), Geracitano et al. (2002; 2004a; 2004b), Moraes et al. (2006), Rosa et al. (2005; 2008), Sandrini et al. (2006; 2008) y Ventura-Lima et al. (2007) en Brasil. Estos autores han evaluado los efectos del cobre y el peróxido de hidrógeno en el sistema de defensa antioxidante en diferentes partes del cuerpo, por diferentes periodos de tiempo, bajo condiciones de estrés oxidativo. Los resultados han demostrado que *L. acuta* es un excelente indicador de contaminación por sustancias xenobióticas en ecosistemas marinos costeros y que su comportamiento puede dar luces sobre cómo los demás organismos bentónicos responden al estrés causado por dichas sustancias.

Poliquetos: indicadores biológicos en Colombia.

En Colombia, los estudios con poliquetos han sido desarrollados mayormente en la zona norte del país con un énfasis taxonómico; sin embargo, se han realizado algunos estudios sobre el carácter indicador de los poliquetos. Para el Pacífico, Lucero-Rincón et al. (2008) evaluaron la relación existente entre la cantidad de sedimentos que se encuentran en la desembocadura del cauce del río Anchicaya y el crecimiento de la macrofauna bentónica entre las zonas de Taparal y Soldado (Buenaventura). La abundancia de poliquetos de la familia Capitellidae se relacionó con la alta carga de sedimentos transportada por el río. Por su parte, Serna-Giraldo et al. (2013) evaluaron

el efecto de la exposición continua a contaminantes en el ADN de la especie *Lumbrineris verrilli* (Lumbrineridae) en bahía de Buenaventura. Los individuos de *L. verrilli* no se diferenciaron genéticamente entre las estaciones de muestreo, lo que sugiere que esta bahía podría estar perturbada en proporciones iguales. Finalmente, para el Caribe, Fernández-Rodríguez y Londoño-Mesa (en revisión) consideran a *C. capitata*, *Ficopomatus uschakovi* y *N. succinea* especies indicadoras por su tolerancia a la contaminación por materia orgánica, luego de un estudio realizado en bahía Murrirío y ensenada de Rionegro, golfo de Urabá, en el que se relacionaron los parámetros físico-químicos de la columna de agua y la abundancia de las especies encontradas.

En términos de estudios de impacto ambiental, sobresale la investigación realizada por la Universidad Jorge Tadeo Lozano (2013) después del hundimiento de la barcaza TS-115 en la zona de anclaje del puerto Drummond (Santa Marta). En esta investigación se utilizaron poliquetos y moluscos para identificar el cambio en la comunidad béntica. Se encontró que las familias Magelonidae, Spionidae, Lumbrineridae, Glyceridae son las primeras colonizadoras de fragmentos grandes de carbón, y en particular los individuos de la familia Magelonidae usaron estos fragmentos para construir sus tubos.

Es importante destacar que hasta hoy no se registran en el país estudios que involucren nuevas técnicas de monitoreo como bioensayos o biomarcadores y que los estudios sobre indicadores biológicos usando poliquetos se reduce al número de investigaciones presentado en este trabajo.

Legislación ambiental

En Colombia, la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de Espacios Oceánicos, Zonas Costeras e Insulares (Ministerio de Medio Ambiente 2000) contempla entre sus líneas estratégicas el diseño y estandarización de la evaluación periódica de la calidad ambiental de los ecosistemas marinos costeros a través del diseño efectivo de mecanismos e indicadores que permi-

tan evaluar los efectos antrópicos y de fenómenos naturales. Sin embargo, hasta el momento, ningún decreto gubernamental ha sido creado para exigir estas evaluaciones a las Corporaciones Autónomas Regionales de los departamentos costeros e insulares. Por su parte, el INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés), principal autoridad ambiental en ecosistemas marino costeros, construye anualmente los Índices de la Calidad Ambiental de las Aguas Marinas y Costeras donde se analizan las condiciones físicas, químicas y microbiológicas para determinar el estado de los cuerpos de agua. No obstante, en estos índices no son considerados los organismos mayores (por ejemplo, fauna y flora marina) como herramientas útiles en la determinación del estado de conservación y/o deterioro de las zonas marinas colombianas. Es importante resaltar que la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) exige un seguimiento periódico sobre los impactos ambientales producidos en la explotación de los recursos naturales efectuados por las empresas privadas; sin embargo, no existe entre su normativa un protocolo adecuado y estandarizado para el uso de organismos como indicadores biológicos en zonas marino costeras.

Conclusiones

Los poliquetos son ampliamente usados como indicadores biológicos de contaminación por metales pesados, materia orgánica e hidrocarburos, debido a su capacidad adaptativa, amplia distribución, posición en la cadena trófica, relativa facilidad de captura, mantenimiento en condiciones de laboratorio y carácter principalmente bentónico. Estos organismos han sido usados en diferentes técnicas de bioindicación, desde las más clásicas que incluyen análisis de

variables ambientales mediante supuestos estadísticos, hasta técnicas más modernas como ensayos de toxicidad, análisis de biomarcadores enzimáticos y moleculares en condiciones de estrés.

Tradicionalmente, organismos de la especie *C. capitata* han sido considerados como modelos en estudios de bioindicación. No obstante, individuos de otras familias de poliquetos, principalmente neréidos, son reconocidos actualmente como excelentes indicadores del estado de contaminación en fondos blandos (p. e. *L. acuta*, *N. succinea* y *N. diversicolor*) debido a su respuesta fisiológica en condiciones de estrés (potencial de bioacumulación, tolerancia, adaptación fisiológica y genética).

Muchos investigadores han reconocido el valor ecológico de los poliquetos y su importancia en los estudios de impacto ambiental en sistemas marino costeros. Sin embargo, para Colombia, los estudios de bioindicación con poliquetos son escasos y se restringen a las técnicas clásicas de bioindicación; a este respecto la especie *C. capitata* ha sido considerada con indicador biológico por contaminación de materia orgánica. No obstante, se requiere con urgencia iniciar estudios en los aspectos ecológicos, ecotoxicológicos y bioensayos de laboratorio con estos organismos, con el fin de evaluar cuáles especies y por qué pueden ser consideradas como indicadores biológicos para Colombia. En términos legislativos hace falta claridad sobre el diseño y uso de indicadores biológicos en ecosistemas marino costeros, así como la implementación de los mismos en estudios de impacto y seguimiento ambiental. Finalmente, es importante que las autoridades y entidades encargadas de la evaluación del ambiente marino generen las primeras directrices para el uso de indicadores biológicos marinos de la mano con los centros de investigación.

Referencias

- Amezcuá-Allieri, M. A. y C. González-Macías. 2007. Propuesta de un índice numérico para evaluar la calidad del sedimento influenciado por la industria petrolera. *Interciencia* Vol. 32(7): 453-459. Consultado el 10 de agosto del 2014. <http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000700006&lng=es&synrm=iso>.
- Berthet, B., Mouneyrac, C., Amiard, J. C., Amiard-Triquet, C., Berthelot, Y., Le Hen, A., Mastain, O., Rainbow, P. S. y B. Smith. 2003. "Accumulation and soluble binding of cadmium, copper, and zinc in the polychaete *Hediste diversicolor* from coastal sites with different trace metal bioavailabilities". *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 45 (4): 468-478.
- Borges-Rocha, M., Machado-Silva, E. y N. Sánchez-Riascos. 2013. "Avaliação da influência da oxigenação e da qualidade do sedimento sobre a sobrevivência de *Scolecopsis chilensis* (Spionidae: Polychaeta) da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro". *Biotemas* 26 (4): 85-92.
- Borja, A. J., Franco, J. y V. Pérez. 2000. "A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments". *Marine Pollution Bulletin* 40 (12):1100-1114.
- Brown, S., Gaston, G., Rakoginski, C. y R. Hear. 2000. "Effects of sediment contaminants and environmental gradients on macrobenthic community trophic structure in Gulf of Mexico estuaries". *Estuaries* 23 (3):411-424.
- Cañete, J. I., Leighton, G. L. y E. H. Soto. 2000. "Proposición de un índice de vigilancia ambiental basado en la variabilidad temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos bentónicos de bahía Quintero, Chile." *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 35 (2): 185 - 194.
- Carignan, V. y M. Villard. 2002. "Selecting indicator species to monitor ecological integrity: A review". *Environmental Monitoring and Assessment* 78 (1): 45-61.
- Casado-Martínez, M. C., Smith, B. D., Del Valle, T. A. y P. S. Rainbowa. 2009. "Pathways of trace metal uptake in the lugworm *Arenicola marina*". *Aquatic Toxicology* 92 (1): 9-17.
- Casado-Martínez, M. C., Smith, B. D., Luoma, S. N. y P. S. Rainbow. 2010. "Bioaccumulation of arsenic from water and sediment by a deposit-feeding polychaete (*Arenicola marina*): A biodynamic modelling approach". *Aquatic Toxicology* 98 (1): 34-43
- Dale, V. H. y S. C. Beyeler. 2001. "Challenges in the development and use of ecological indicators". *Ecological indicators* 1 (1): 3-10.
- Dauvin, J. C., Bellan, G. y D. Bellan-Santini. 2010. "Benthic indicators: from subjectivity to objectivity -Where is the line?". *Marine Pollution Bulletin* 60 (17): 947-953.
- Dean, H. K. 2008. "The use of polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution: a review". *Revista de Biología Tropical* 56 (4): 11-38.
- Delgado-Blas, V. H. 2001. "Distribución espacial y temporal de los poliquetos (Polychaeta) benthicos de la plataforma continental de Tamaulipas, Golfo de México". *Revista de Biología Tropical* 49 (1): 141-147.
- Del Pilar Ruso, Y., de la Ossa Carretero, J. A., Loya-Fernández, A., Ferrero-Vicente, I. M., Gimenez-Casalduero, F. A. y J. L. Sánchez-Lizaso. 2008. "Efecto del vertido de aguas residuales en el poblamiento de poliquetos en San Pedro del Pinatar". *Actas del Cuarto Congreso de la Naturaleza de la Región de Murcia y I Sureste Ibérico*: 345-354.
- Del Pilar Ruso, Y., de la Ossa Carretero, J. A., Giménez-Casalduero, F. y J. L. Sánchez-Lizaso.

2011. "Polychaete distribution pattern on the Valencian Community coast, Spanish Mediterranean". *Ciencias Marinas* 37 (3): 261–270.
- Díaz-Jaramillo, M., Muñoz, P., Delgado-Blas, V. H. y C. Bertrán. 2008. "Distribución espacio-temporal de los espiónidos (Polychaeta-Spio-nidae) en un sistema de estuarios del centro sur de Chile". *Revista Chilena de Historia Natural* 81 (2): 501-514.
- Durou, C., Mouneyrac, C. y C. Amiard-Triquet. 2005. "Tolerance to metals and assessment of energy reserves in the polychaete *Nereis diversicolor* in clean and contaminated estuaries". *Environmental Toxicology* 20 (1): 23-31.
- Fernández-Rodríguez, V. y M. H. Londoño-Mesa. (en revisión). "Polychaetes from red mangroves (*Rhizophora mangle*) and their relationship with the water conditions in the Gulf of Urabá, Southern Colombian Caribbean". *Acta Biológica Colombiana*.
- Ferrando, A., Esteves, J. L., Elías, R. y N. Méndez. 2010. "Intertidal macrozoobenthos in sandy beaches of Bahía Nueva (Patagonia, Argentina) and their use as bioindicators of environmental impact". *Scientia Marina* 74 (2): 345-352.
- Ferreira-Cravo, M., Ventura-Lima, J., Sandrini, J. Z., Amado, L. L., Geracitano, L. A., Rebelo, M., Bianchini, A. y J. M. Monserrat. 2009. "Antioxidant responses in different body regions of the polychaete *Laeonereis acuta* (Nereididae) exposed to copper". *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72 (2): 388–393.
- Fu-hong, S. y Z. Qi-Xing. 2008. "Oxidative stress biomarkers of the polychaete *Nereis diversicolor* exposed to cadmium and petroleum hydrocarbons". *Ecotoxicology and Environmental Safety* 70: 106-114.
- Geracitano, L. A., Monserrat, J. M. y A. Bianchini. 2002. "Physiological and antioxidant enzyme responses to acute and chronic exposure of *Laeonereis acuta* (Polychaeta, Nereididae) to copper". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 277(2):145–156.
- Geracitano, L. A., Monserrat, J. M. y A. Bianchini. 2004a. "Oxidative stress in *Laeonereis acuta* (Polychaeta, Nereididae): environmental and seasonal effects". *Marine Environmental Research* 58 (2-5): 625–630.
- Geracitano, L. A., Bocchetti, R., Monserrat, J. M. y A. Bianchini. 2004b. "Oxidative stress responses in two populations of *Laeonereis acuta* (Polychaeta, Nereididae) after acute and chronic exposure to copper". *Marine Environmental Research* 58 (1):1–17.
- Giangrande, L. A., Licciano, M. y I. Muscol. 2005. "Polychaetes as environmental indicators revisited". *Marine Pollution Bulletin* 50 (11): 1153-1162.
- Giménez Casalduero, F. 2001. Biondicators. Tools for the impact assessment of aquaculture activities on the marine communities. Consultado el 31 de Marzo 2015. <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=1600229>
- Goodsell, P. J., Underwood, A. J. y M. G. Chapman, 2009. "Review: Evidence necessary for taxa to be reliable indicators of environmental conditions or impacts". *Marine Pollution Bulletin* 58 (3): 323–331.
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T. y A. Crespo. 2005. "Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos". *Revista Iberoamericana de Micología* 22: 71-82.
- Hutchings, P. 1998. "Biodiversity and functioning of polychaetes in benthic sediments". *Biodiversity Conservation* 7 (9):1133-1145.
- Ibáñez, M., Romero, A., San-Vicente, C. y K. Zabala. 1984. "La contaminación marina en Guipuzcoa ii: estudio de los indicadores biológicos de la contaminación en los sedimentos de los estuarios del Urola, Orla y Urumea". *Lurr@lde Investigación* No. 7: 13-21. Consultado el 8 de julio 2013. <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur07/07iba/iba07.htm>

- INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés. 2002. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia. Santa Marta - Colombia.
- Jae-Sung, R., Young-Mi, L., Dae-Sik, H., Eun-Ji, W., Sheikh, R., Kyung-Hoon, S. y L. Jae-Seong. 2007. "Molecular cloning, expression, biochemical characteristics, and biomarker potential of theta class glutathione S-transferase (GST-T) from the polychaete *Neanthes succinea*". *Aquatic Toxicology* 83: 104-115.
- Jae-Sung, R., Eun-Ji, W., Ryeo-Ok, K., Beom-Soon, C., Ik-Young, C., Gyung-Soo, P., Kyung-Hoon, S., Young-Mi, L. y L. Jae-Seong, L. 2012. "The polychaete, *Perinereis nuntia* ESTs and its use to uncover potential biomarker genes for molecular ecotoxicological studies". *Environmental Research* 112: 48-57.
- Jiménez-Cisneros, B. E. 2001. *La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada*. Ciudad de México: Editorial Instituto de Ingeniería de la UNAM y Femisca.
- Jones, P. G. y U. L. Kaly. 1996. "Criteria for selecting marine organisms in biomonitoring studies". En: *Detecting ecological impacts: Concepts and applications in coastal habitats*, editado por Schmitt, R. J. y C. W. Oserberg, 29-48. California: Academic Press.
- Kuk-Dzul, J. G., Delgado-Blas, V. H. y J. L. Tejero-Gómez. 2006. Poliquetos de sustrato arenoso como bioindicadores de contaminación por materia orgánica en la zona urbana de la bahía de Chetumal, Quintana Roo. Consultado el 29 de junio de 2013. http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CA/EC/CAC-41.pdf.
- Lucero-Rincón, C. H., Bolívar, G., Neira, R. y E. J. Peña. 2008. "Utilización de la macrofauna bentónica como indicadora de calidad ambiental en la desembocadura del río Anchicaya, pacífico colombiano". *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* No. 7: 94-101.
- Consultado el 27 de julio de 2014. <http://www.redalyc.org/pdf/2311/231116372011.pdf>.
- MAGAZINE, Portal de noticias biológicas. 2013. "Nueva especie de indicadora de contaminación en el oeste de Tazmania". Consultado el 8 de junio de 2013. http://megazine.co/nuevas-especies-indicadoras-de-contaminacion-descubierto-en-el-oeste-de-tasmania-coast_2e9ef.htm.
- Markert, B. y S. Wünschmann. 2010. "Bioindicators and Biomonitoring: Use of organisms to observe the influence of chemicals on the environment". *Organic Xenobiotics and Plants Plant Ecophysiology* 8: 217-236.
- Martínez-Quiroga, R. 2009. *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. Serie Manuales - CEPAL No. 61. Santiago de Chile: CEPAL, Naciones Unidas.
- Mason, C. F. 1984. *Biología de la contaminación de agua dulce*. Madrid: Editorial Alhambra.
- Méndez, N. 1993. "Capitella capitata (Polychaete: Capitellidae) as a biological indicator of organic matter pollution in the zone of Barcelona, Spain". *Qualité Milieu Marini. Indicateurs biologiques et physico-chimiques*: 161-173.
- Méndez, N. 1997. "Polychaetes inhabiting soft bottoms subjected to organic enrichment in the topolobmpo lagoon complex, Sinaloa, México". *Océánides* 12 (2): 79-88.
- Méndez, N. 2007. "Relationships between deep-water polychaete fauna and environmental factors in the southeastern Gulf of California, México". *Scientia Marina* 71 (3): 605-622.
- Méndez, N., Flos J. y J. Romero. 1998. "Littoral soft-bottom polychaete communities in a pollution gradient in front of Barcelona (Western Mediterranean, Spain)". *Bulletin of Marine Science* 107 (17): 167-178.
- Méndez, N. y M. Green-Ruiz. 1998. "Superficial sediments and their relation to polychaete families in a subtropical embayment, México".

- Revista de Biología Tropical 46(2): 237-248. Consultado el 14 de octubre de 2014. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S003477441998000200008&script=sci_arttext&lng=pt.
- Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General de Ecosistemas. República de Colombia. 2000. Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia. Consultado el 31 de marzo de 2015. https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadYServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Politicasy4268_161009_polit_zonas__costeras_pnaoci.pdf
- Moraes, T. B., Ferreira, J. L., da Rosa, C. E., Sandrini, J. Z., Votto, A. P., Trindade, G. S., Geracitano, L. A., Abreu, P. C. y J. M. Monserrat. 2006. "Antioxidant properties of the mucus secreted by *Laeonereis acuta* (Polychaeta, Nereididae): a defense against environmental pro-oxidants? Comparative Biochemical Physiology Part C". *Toxicology and Pharmacology* 142 (3-4): 293-300.
- Muniz, P., da Cunha Lana, P., Venturini, N., Elías, R., Vallarino, E., Bremec, C., de Castro Martins, C. y L. Sandrini. 2013. *Un manual de protocolos para evaluar la contaminación marina por efluentes domésticos*. Pontal do Sul. Paraná: Editorial Universidade Federal do Paraná.
- Muñoz, P. y M. Salamanca. 2001. "Flujo de plomo particulado a los sedimentos marinos y su incorporación en *Paraprionospio pinnata* (Polychaeta: Spionidae) en bahía Concepción, Chile". *Gayana* 65 (2): 155-166.
- Musco, L., Cavallo, A. y A. Giangrande. 2004. "I sillidi (Annelida: Polychaeta) del litorale brindisino: possibilità di un loro impiego come indicatori di qualità dell'ambiente". *Thalassia salentina* 27: 161-174.
- Paredes, P. 2010. "Determinación de la concentración de hidrocarburos en las aguas superficiales y sedimentos y su relación con *Capitella capitata* para conocer la contaminación del estuario del río Chone". *Acta Oceanográfica del Pacífico* 16(1): 94-109.
- Paxton, H. y A. Davey. 2010. "A new species of *Ophryotrocha* (Annelida: Dorvilleidae) associated with fish farming at Macquarie Harbour, Tasmania, Australia". *Zootaxa* 2509: 53-61.
- Peraza, R. G. y V. H. Delgado-Blas. 2012. "Determinación de la concentración letal media (cl50) de cuatro detergentes domésticos biodegradables en *Laeonereis culveri* (Webster 1879) (Polychaeta: Annelida)". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28 (2): 137-144.
- Pérez-Osuna, F. y C. Osuna-Martínez. 2011. "Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: una revisión sobre los organismos utilizados". *Hydrobiológica* 21(3): 229-238.
- Pinilla, G. A. 1998. *Indicadores biológicos en sistemas acuáticos continentales de Colombia*. Bogotá: Centro de Investigaciones Científicas Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Polanía, J. 2010. "Indicadores biológicos para el monitoreo de puertos en Colombia". *Revista Gestión y Ambiente* 13 (2): 75-86.
- Ramos, R., Bastidas, C. y E. García. 2012. "Ensayos de toxicidad con sedimentos marinos del occidente de Venezuela". *Ciencias Marinas* 38 (1A): 119-127.
- Raz-Guzmán, A. 2000. "Crustáceos y Poliquetos" En: *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación: (Bioindicadores)*, editado por Lanza Espino, G., Hernández-Pulido, S. y Carbajal-Pérez, L., 265-308. México: Editorial Plaza y Valdés.
- Reish, D. J. y T. V. Gerlinger. 1997. "A review of the toxicological studies with polychaetous annelids". *Bulletin Marine Science* 60 (2): 584-607.
- Rivero, S., Elías, R. y E. Vallarino. 2005. "Primeros datos de la macroinfauna del puerto de Mar del Plata (Argentina), y el uso de poliquetos como

- indicadores de contaminación”. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 40 (2): 101-108.
- Rosa, C. E., Lurman, M. G., Abreu, P. C., Geracitano, L. A. y J. M. Monserrat. 2005. “Antioxidant mechanisms of the Nereidid *Laeonereis acuta* (Anelida: Polychaeta) to cope with environmental hydrogen peroxide”. *Physiological and Biochemical Zoology* 78 (4): 641-649.
- Rosa, C. E., Bianchini, A. y J. M. Monserrat. 2008. “Antioxidant responses of *Laeonereis acuta* (Polychaeta) after exposure to hydrogen peroxide”. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 41 (2): 117-121.
- Salazar-Vallejo, S. I. 2000. *Contaminación Marina: Métodos de Evaluación Biológica*. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Chetumal, México: Fondo de Publicaciones y Ediciones Gobierno de Quintana Roo.
- Samuerlson, G. M. 2001. “Polychaetes as indicators of environmental disturbance on subarctic tidal flats, Iqaluit, Baffin Island, Nunavut territory”. *Marine Pollution Bulletin* 42 (9): 733-741.
- Sandrini, J. Z., Lima, J. V., Regoli, F., Fattorini, D., Notti, A., Marins, L. F. y J. M. Monserrat. 2008. “Antioxidant responses in the nereidid *Laeonereis acuta* (Annelida, Polychaeta) after cadmium exposure”. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 70 (1): 115-120
- Sandrini, J. Z., Regoli, F., Fattorini, D., Notti, A., Inácio, A. F., Linde-Arias, A. R., Laurino, J., Bainy, A. C., Marins, L. F. y J. M. Monserrat. 2006. “Short-term responses to cadmium exposure in the estuarine polychaete *Laeonereis acuta* (Polychaeta, Nereididae): subcellular distribution and oxidative stress generation”. *Environmental Toxicology Chemistry* 25 (5): 1337-1344.
- Serna-Giraldo, N., Posso-Terranova, A. M., Muñoz-Flórez, J. E., Giraldo, A. y A. I. Guzmán-Alvis. 2013. “Diversidad genética de *Lumbrineris verilli* (Polychaete: Lumbrineridae) en condiciones de enriquecimiento orgánico en la bahía de Buenaventura (Costa Pacífica colombiana)”. En: *Investigación en Ciencias del Mar: Aportes de la Universidad Nacional de Colombia*: 91-104. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Solís-Weiss, V. 2010. Los gusanos marinos ayudan a detectar la contaminación de los mares. [Internet] Agencia Ciudadana de Ciencia e Innovación para Iberoamérica. Consultado el 5 de julio de 2013. <http://www.dicyt.com/noticias/los-gusanos-marinos-ayudan-a-detectar-la-contaminacion-de-los-mares>.
- Surugiu, V. 2005. “The use of polychaetes as indicators of eutrophication and organic enrichment of coastal waters: A study case – Romanian black”. *Analele Științifice ale Universității “Al.I. Cuza” Iași, s. Biologie animală*: 55-62.
- Universidad Jorge Tadeo Lozano. 2013. Evaluación ambiental del impacto causado por la barcaza ts-115 en el área de anclaje de puerto Drummond, Ciénaga Magdalena, Caribe Colombiano. Informe Técnico. Consultado el 31 de marzo de 2015. <http://www.drummondLtd.com/wp-content/uploads/3.-InformeFinalUJTL-Completo.pdf>.
- Valente, R. M., Rhoads, D. C., Myre, P. L., Read, B. L. y D. A. Carey. 2006. Evaluation of Field Bioaccumulation as a Monitoring Tool. DAMOS Contribution No. 169. U.S. Army Corps of Engineers, New England District, Concord, Massachusetts.
- Van der Oost, R., Beyer, J. y N. Vermeulen. 2003. “Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: A review”. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 13 (2): 57-149.
- Ventura-Lima, J., Sandrini, J. Z., Cravo, M. F., Piedras, F. R., Moraes, T. B., Fattorini, D., Notti, A., Regoli, F., Geracitano, L. A., Marins, L. F. y J. M. Monserrat. 2007. “Toxicological responses in *Laeonereis acuta* (Annelida, Polychaeta) after arsenic exposure”. *Environment International* 33 (4): 559-564.

- Volpi-Ghirardini, A., Cavallin, L., Delaney, E., Tagliapietra, D., Ghetti, P. F., Bettiol, C. y E. Argese. 1999. "*Hediste diversicolor*, *Neanthes succinea* and *Perinereis cultrifera* (Polychaeta: Nereididae) as bioaccumulators of cadmium and zinc from sediments: Preliminary results in the Venetian lagoon (Italy)". *Toxicological and Environmental Chemistry* 71(3-4): 457-474.
- Zapata-Vívenes, E. A. 2012. "*Eurythoe complanata* Pallas, 1766 (Polychaeta: Amphinomidae) como organismo sensor de contaminación en costas del estado Sucre, Venezuela". (Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas, Universidad de Oriente. Instituto Oceanográfico de Venezuela, 2012).

Agradecimientos

Agradecemos a los evaluadores anónimos por sus comentarios y sugerencias para la mejora del manuscrito.