

University of Nebraska - Lincoln

DigitalCommons@University of Nebraska - Lincoln

Estudios en Biodiversidad

Parasitology, Harold W. Manter Laboratory of

2015

Revisión del uso de céstodos como indicadores de contaminación por metales pesados en mamíferos de medios terrestres

Jorge Falcón-Ordaz

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Scott Monks

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, monks.scott@gmail.com

Griselda Pulido-Flores

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, g.pulido.flores@gmail.com

Follow this and additional works at: <https://digitalcommons.unl.edu/biodiversidad>



Part of the [Biodiversity Commons](#), [Botany Commons](#), and the [Terrestrial and Aquatic Ecology Commons](#)

Falcón-Ordaz, Jorge; Monks, Scott; and Pulido-Flores, Griselda, "Revisión del uso de céstodos como indicadores de contaminación por metales pesados en mamíferos de medios terrestres" (2015). *Estudios en Biodiversidad*. 8.

<https://digitalcommons.unl.edu/biodiversidad/8>

This Book Chapter is brought to you for free and open access by the Parasitology, Harold W. Manter Laboratory of at DigitalCommons@University of Nebraska - Lincoln. It has been accepted for inclusion in Estudios en Biodiversidad by an authorized administrator of DigitalCommons@University of Nebraska - Lincoln.

Revisión del uso de céstodos como indicadores de contaminación por metales pesados en mamíferos de medios terrestres

Jorge Falcón-Ordaz, Scott Monks, y Griselda Pulido-Flores

Resumen

En México son pocos los estudios realizados con invertebrados para conocer la concentración de metales pesados en el ambiente, los primeros trabajos fueron realizados con organismos acuáticos. Sin embargo, la necesidad de conocer la contaminación ambiental en medios terrestres ha llevado a los investigadores a utilizar otras herramientas, por ejemplo los helmintos, que se utilizan como bioindicadores de contaminación ambiental basados en su capacidad de absorción, y concentración de contaminantes del medio en su cuerpo. El uso de bioindicadores es ventajoso y económico comparado con el análisis directo de contaminantes por que solo las fracciones que están biológicamente disponibles son tomadas y concentradas por los animales. Por otro lado, los bioindicadores pueden ser utilizados como auxiliares en la detección de concentraciones bajas de contaminantes en el medio o en áreas que se cree están libres de contaminación.

Los céstodos, son parásitos del intestino de vertebrados, quienes al vivir en ese entorno pueden contener parte de los metales pesados que el vertebrado desecha debido a su capacidad de absorción por que cuentan con un tegumento a lo largo del cuerpo que permite el paso de los metales pesados al parásito. Es por esta particularidad que los céstodos pueden servir como excelentes bioacumuladores de metales pesados, sobre todo en ambientes terrestres.

Introducción

¿Qué es un organismo indicador de contaminación?

La importancia de encontrar indicadores para monitorear los efectos de la contaminación en el ambiente fue puesta de manifiesto hace más de veinte años, durante este tiempo se ha visto la necesidad de contar con diversas herramientas, por ejemplo, organismos cuya presencia y capacidad de absorción de sustancias permita conocer el grado de contaminación de un lugar. La evaluación de contaminación con organismos es a través de:

Bioindicador: organismo, parte de él o comunidad de organismos que contienen información de la calidad del ambiente o parte de éste por su capacidad de acumulación, dando información acerca del

estado químico de su medio por cambios en su fisiología y/o comportamiento (Market *et al.*, 2003; Sures, 2004).

Biomonitor: organismo, parte de un organismo o comunidad de organismos que contienen información en aspectos de cantidad de la calidad del ambiente. En estos casos el camino de un biomonitor es el ser un bioindicador pero éste no necesariamente debe cumplir los requerimientos de un biomonitor (Market *et al.*, 2003).

Un tercer tipo de organismo es el denominado indicador de acumulación, también llamado monitor o centinela, son organismos que demuestran específicamente o no, efectos en la respuesta a la exposición de ciertos elementos, compuestos o un número de sustancias que están disponibles biológicamente (Beeby, 2001; Market *et al.*, 2003; Sures, 2004).

Los organismos centinelas sirven para mapear la fracción de contaminación biodisponible en un ecosistema por su capacidad de retención para dichos contaminantes en sus tejidos. Estos organismos son efectivos si integran una señal de contaminación de un área en un intervalo de tiempo, el cual puede medirse y mostrar una correspondencia simple entre los niveles del tejido y el ambiente.

Los centinelas pueden ser utilizados de tres maneras: Acumulador, que incrementa analíticamente la sensibilidad para un contaminante; compara la concentración entre sitios, resume la señal de un complejo de contaminantes. Integrador, que provee datos a lo largo del tiempo y del espacio; y Medida de exposición, que sirve para cuantificar la biodisponibilidad de un contaminante en particular (Beeby, 2001).

Sures (2004) menciona nueve puntos que deben cumplir los organismos que son utilizados como centinelas:

- 1.- Alto potencial de acumulación y la misma correlación entre el contenido del contaminante del centinela y el promedio de la concentración del contaminante en el medio en todas las localizaciones, y bajo todas las condiciones.
- 2.- No se deben utilizar organismos muertos.
- 3.- Sedentario o con una distribución geográfica definida, para encontrar una relación entre áreas estudiadas.
- 4.- Cuerpo grande para proveer suficiente tejido para su análisis.
- 5.- Especie abundante para no alterar la estructura de edad o tener un efecto significativo en la población.
- 6.- Dispersos para facilitar comparaciones entre diferentes áreas.
- 7.- Fácil de coleccionar e identificar.
- 8.- Fisiológicamente bien estudiados, incluyendo los efectos de edad, tamaño, estacionalidad, y actividad reproductiva en la asimilación de los contaminantes.
- 9.- Organismos con periodos de vida largos para la integración de contaminantes por amplios lapsos de tiempo.

Parásitos como indicadores de contaminación

Los parásitos han incrementado su atractivo desde que se estudian desde el punto de vista ecológico y por que son potenciales indicadores de la calidad ambiental ya que responden de diferente manera a la

contaminación antropogénica. Durante la búsqueda de indicadores para monitorear los efectos de la contaminación en el ambiente se han utilizado los helmintos por su capacidad de absorción, y concentración de contaminantes del medio en su cuerpo. Con base en esta capacidad pueden ser utilizados como auxiliares en la detección de concentraciones bajas de contaminantes en el medio o en áreas que se cree están libres de contaminación, ya que estos parásitos pueden acumular concentraciones que pueden ser altas en comparación con sus hospederos o el ambiente (Sures, 2004; Sures *et al.*, 1999).

La gran mayoría de estudios sobre contaminación involucrando parásitos han sido en medios acuáticos (Sures *et al.*, 1999), los primeros en ser utilizados fueron *Gyrodactylus* sp., parásitos de peces con los cuales se detectó la contaminación de sedimentos; acantocéfalos en la contaminación de efluentes municipales e industriales y *Ligula intestinalis* como indicador de metales pesados (Billiard y Khan, 2003; Marcogliese *et al.*, 1998; Oyoo-Okoth *et al.*, 2010; Tekin-Ozan y Kir, 2005; Tekin-Ozan y Barlas, 2008; Tenora *et al.*, 2000). En México se han realizado investigaciones de calidad ambiental utilizando a los helmintos parásitos de peces como bioindicadores en el río Metztlán, y Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (Pulido-Flores *et al.*, 2005; Monks y Pulido-Flores, 2008; Monks *et al.*, 2013) y en los lagos de San Miguel, Limón y Caracol, Chiapas (Sánchez-Ramírez *et al.*, 2007).

En contraste, las investigaciones con parásitos en ambientes terrestres es menor, por eso la necesidad de buscar centinelas para este tipo de ambientes es inminente. Hasta la fecha sólo se han llevado a cabo estudios para parásitos de mamíferos como roedores, cerdos, ovinos y también en algunas aves. Los resultados que se han encontrado evidencian que los nemátodos de mamíferos son similares a los de peces ya que no son eficientes indicadores de acumulación de contaminantes (Sures, 2004), por que a diferencia de los otros helmintos utilizados, estos organismos cuentan con una cutícula que no permite la libre absorción a través de su cuerpo.

El uso de helmintos parásitos de mamíferos como centinelas de contaminación por metales pesados

Son pocos los trabajos publicados a nivel mundial (61) que versan sobre el uso de helmintos parásitos

de diferentes vertebrados como centinelas de contaminación por metales pesados.

La información disponible de parásitos indicadores de contaminación por metales pesados que utilizan como hospederos mamíferos es escasa, estos estudios detallan el análisis de metales como Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn) y Níquel (Ni). Se han analizado acantocéfalos (*Macracanthorhynchus hirudinaceus*), nemátodos (*Ascaris suum*) y digéneos (*Fasciola hepatica*) de ganado porcino y bovino provenientes de rastros de Bolivia y Alemania (Greichus, 1980; Sures *et al.*, 1998; Sures *et al.*, 2000). El estudio con acantocéfalos realizado por Sures y colaboradores (2000) quienes experimentalmente observaron la acumulación de plomo en *Molniliiformis moniliiformis* arrojó que las hembras acumulan más plomo, que los órganos de su hospedero (ratas) a diferencia de los machos, que acumulan la misma cantidad de metal que los órganos de los roedores.

En el caso de los nemátodos solo dos estudios se han realizado con estos parásitos en mamíferos silvestres, el primero fue con *Protospirura muricola* parásito de un topo (*Heliophobius argenteocinereus*) proveniente de Malawi, África, en el cual se detectaron concentraciones altas de Pb, Cd, Cu y Zn con respecto a su hospedero (Barus *et al.*, 2003). El segundo trabajo se llevó a cabo en una zona contaminada de la República Checa con ejemplares de zorras rojas parasitadas por *Toxocara leonina*, de quienes se analizaron metales como Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni y Zn, observando que el nemátodo acumuló mayor cantidad de metales pesados que su hospedero con excepción de Cd (Jankovska *et al.*, 2010a). Con los estudios anteriores se vislumbra una gran oportunidad para el uso de los helmintos de contaminación en medios terrestres.

Céstodos como indicadores de contaminación por metales pesados

Los céstodos son organismos pertenecientes al phylum Platyhelminthes que se caracterizan por tener el cuerpo aplanado dorsoventralmente, su cuerpo está dividido en tres regiones: escólex, cuello y estróbilo con forma de cinta, carecen de cutícula y presencia de parénquima. Llegan a medir desde 1 milímetro hasta varios metros como en el caso de *Taenia solium* que mide de 6 a 8 m (Lamothe-Argumedo, 1983).

El tegumento que cubre el cuerpo de los céstodos es un tejido vivo, puesto que a través de él absorben los nutrientes necesarios ya sea por difusión o por

transporte activo, debido a que carecen de aparato digestivo. El tegumento se encuentra constituido por dos capas: la externa formada por una serie de proyecciones citoplasmáticas (microvellosidades o microtricos), que cubren todo el cuerpo del parásito, aumentando la superficie de absorción. La segunda capa es llamada citoplasmática donde se localizan un gran número de organelos celulares (Lamothe-Argumedo, 1983; Lamothe-Argumedo y García-Prieto, 1988).

El monitoreo de metales pesados en diferentes tipos de ambientes utilizando céstodos se inició hace 15 años (Tabla 1), los primeros estudios fueron en ambientes acuáticos donde se involucraron peces con sus parásitos, el trabajo inicial se realizó con los céstodos *Bothriocephalus scorpii* y *Monobothrium wagneri* parasitando a *Scophthalmus maximus* y *Tinca tinca* respectivamente; tanto en los peces como en los parásitos se analizaron metales como Pb y Cd, encontrando concentraciones de los contaminantes más altas en los cestodos, que las encontradas en sus hospederos (Sures, *et al.*, 1997).

Posteriormente se hizo un estudio donde se revisaron larvas del céstodo *Ligula intestinalis* encontradas en peces, además de analizar Pb y Cd se agregó el Cr (Tenora, *et al.*, 2000). Así mismo, se ha trabajado con céstodos parásitos de aves en los cuales se incluyó Ni como metal pesado analizado (Barus *et al.*, 2000; Tenora *et al.*, 2001).

A partir del año 2002 se iniciaron investigaciones con céstodos parásitos de mamíferos dentro de las cuales aparte de analizar Cd, Cr, Ni y Pb se incluyeron los metales Cu, Mn, Mb y Zn, los resultados de estos estudios han demostrado que los céstodos son buenos indicadores de la bioacumulación de metales pesados principalmente para Pb en céstodos parásitos de roedores de la familia Muridae (Sures *et al.*, 2003; Sures *et al.*, 2002; Torres *et al.*, 2006), lo que queda de manifiesto en los trabajos con *Hymenolepis diminuta* y *Cysticercus fasciolaris*, parásitos de *Rattus norvegicus* y *R. rattus* provenientes de El Cairo, Egipto y Teherán, Irán (Sures *et al.*, 2003, Teimoori *et al.*, 2014). En lo que se refiere a estudios con helmintos parásitos de mamíferos silvestres se tienen investigaciones en Europa, donde se ha analizado la presencia de Cd y Pb en el ambiente a través de los céstodos de los roedores (*Apodemus sylvaticus*), en dicho estudio se ratifican los céstodos como indicadores de la presencia de Pb en el ambiente (Torres *et al.*, 2004; Torres *et al.*, 2006).

Tabla 1. Estudios de bioacumulación de metales pesados en céstodos parásitos de diferentes hospederos

ESPECIE DE CÉSTODO		HOSPEDERO	Al	As	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sn	Te	Ti	Ti	U	Zn	REFERENCIA		
<i>Cysticercus fasciolaris</i> y <i>H. diminuta</i>		<i>Rattus norvegicus</i> y <i>R. rattus</i> (M)						X		X					X								X	Teimoori et al., 2014		
Dilepididae		<i>Peromyscus difficilis</i> (M)	X				X			X					X									X	Falcón-Ordaz et al., 2013	
<i>Senga parva</i>		<i>Chama micropeltes</i> (P)					X						X			X								X	Yen Nhi et al., 2013	
<i>Bathybothrium rectangulum</i>		<i>Barbus barbatus</i> (P)					X	X							X	X									Banus et al., 2012	
<i>Moniezia expanda</i>		<i>Ovis aries</i> (M)					X	X	X	X		X												X	Jankovska et al., 2011	
<i>M. expanda</i>		<i>O. aries</i> (M)														X									Jankovska et al., 2010a	
<i>Rodentolepis microstoma</i>		<i>Mus domesticus</i> (M)					X									X									Torres et al., 2011	
Mesocostoides spp.		<i>Vulpes vulpes</i> (M)					X	X	X	X		X			X	X								X	Jankovska et al., 2010	
<i>Ligula intestinalis</i>		<i>Rastroneobola argentea</i> (P)					X	X	X							X									Oyoo-Okoth et al., 2010	
<i>Railletina micracantha</i>		<i>Columba livia</i> (A)		X			X	X	X	X	X		X			X	X							X	Torres et al., 2010	
<i>Paraoxophala dentata</i>		<i>Microtus agrestis</i> (M)					X	X							X	X								X	Jankovská et al., 2009	
<i>P. dentata</i>		<i>Clethrionomys glareolus</i> (M)					X	X							X	X								X	Jankovská et al., 2009	
<i>Proteocephalus macrocephalus</i>		<i>Anguilla anguilla</i> (P)					X								X	X								X	Eira C. et al., 2009	
<i>L. intestinalis</i>		<i>Tinca tinca</i>						X	X	X			X			X								X	Tekin-Ozan y Barlas, 2008	
<i>Triaenophorus nodulosus</i>		<i>Perca fluviatilis</i> (P)					X	X								X								X	Popiolek et al., 2007	
<i>Anthocephalum</i> sp.		<i>Carcharhinus dussumieri</i> (Ch)					X									X									Malek et al., 2007	
<i>Paronygmatobothrium</i> sp.		<i>C. dussumieri</i> (Ch)					X									X									Malek et al., 2007	
<i>Bathriocephalus acheilognathi</i>		<i>Laboobarbus kimberleyensis</i> (P)		X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Retief et al., 2006
<i>Skjoldiaeva labata</i>		<i>Apodemus sylvaticus</i> (M)					X									X									Torres et al., 2006	
<i>L. intestinalis</i>		<i>Tinca tinca</i> (P)					X	X	X	X		X				X								X	Tekin-Ozan y Kir, 2005	
<i>Mosgovia ctenoides</i>		<i>Oxytelagus curvicaulus</i> (M)					X									X									Eira et al., 2005	
<i>Galligoides sarfaei</i>		<i>A. sylvaticus</i> (M)					X									X									Torres et al., 2004	
<i>Hymenolepis diminuta</i>		<i>R. norvegicus</i> (M)					X									X									Sures et al., 2003	
<i>Inermicapsifer anvicanthidis</i>		<i>Heliphobius argenteocinerereus</i> (M)					X									X									Barus et al., 2003	
<i>H. diminuta</i>		<i>R. norvegicus</i> (M)					X									X									Sures et al., 2002	
<i>Proteocephalus percae</i>		<i>Perca fluviatilis</i> (P)					X									X									Turcekova et al., 2002	
<i>Diploposthe laevis</i>		<i>Aythya terina</i> (A)					X								X	X									Tenora et al., 2001	
<i>Microsomacanthus compressa</i>		<i>Aythya nyroca</i> (A)					X								X	X									Tenora et al., 2001	
<i>Ligula intestinalis</i>		<i>Phalacrocorax carbo</i> (A)					X									X									Barus et al., 2000	
<i>Confluaria capillarioides</i>		<i>Podiceps cristatus</i> (A)					X									X									Barus et al., 2000	
<i>Cladotaeia globifera</i>		<i>Buteo buteo</i> (A)					X									X									Barus et al., 2000	
<i>Mesocostoides perlatus</i>		<i>Accipiter gentilis</i> (A)					X									X									Barus et al., 2000	
<i>L. intestinalis</i>		<i>Abramis brama</i> (P)					X	X								X									Tenora et al., 2001	
<i>L. intestinalis</i>		<i>Rutilus rutilus</i> (P)					X	X								X									Tenora et al., 2001	
<i>L. intestinalis</i>		<i>Blicca bjoerkna</i> (P)					X	X								X									Tenora et al., 2001	
<i>Monobothrium wagneri</i>		<i>Tinca tinca</i> (P)					X	X								X									Sures et al., 1997	
<i>Bathriocephalus scorpii</i>		<i>Scophthalmus maximus</i> (P)					X									X									Sures et al., 1997	

Estudios con *Mosgovoyia ctenoides* parásita de *Oryctolagus cuniculis* e *Inermicapsifer arvicanthidis* proveniente de *Heliophobius argenteocinereus* registraron concentraciones bajas de metales pesados con respecto a lo obtenido en sus hospederos (Barus *et al.*, 2003; Eira *et al.*, 2005), por lo que se concluye que estos dos modelos no son convenientes para el estudio de contaminación por metales pesados a diferencia de los trabajos anteriores.

Estudios de contaminación por metales pesados en México

En México son escasos los estudios realizados para conocer la contaminación ambiental por metales pesados utilizando como indicadores algún organismo invertebrado; dos de ellos fueron en el año de 1998: el primero fue realizado por Villanueva y colaboradores en dos localidades del estado de Veracruz (Río Coatzacoalcos y Laguna del Ostión) utilizando como organismos de bioacumulación peces, crustáceos y moluscos, dichos autores analizaron Cu, Fe, Mn, Ni y Zn en los tejidos de los diferentes organismos, encontrando que las concentraciones de los metales es baja, presentando una acumulación los elementos analizados en la siguiente secuencia: moluscos>crustáceos>peces.

En el segundo estudio se analizaron cuatro organismos filtradores: moluscos (*Crassostrea corteziensis* y *Mytella strigata*) y esponjas (*Sigmatocia caerulea* y *Zygomyscaea parishii*), provenientes de las costas de Mazatlán, extrayendo los Cu, Cr, Co, Cd, Fe, Mn,

Ni, Pb y Zn, encontrando que las concentraciones de los metales pesados en el tejido de estos organismos son bajas, correspondiendo a los niveles naturales de dichas especies filtradoras (Paez-Osuna *et al.*, 1988).

En el mismo tenor del estudio anterior está el de Lango-Reynoso *et al.*, (2010), ya que evaluaron la concentración de metales pesados (Ar, Cd y Pb) en ostiones provenientes de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, observando que las concentraciones de Cd en estos moluscos rebasan los límites permisibles de consumo que establecen las normas sanitarias, representando un riesgo para la salud humana.

Sánchez-Ramírez *et al.* (2007) evaluaron la presencia y abundancia de monogéneos de la especie *Cichlidogyrus sclerosus* como parásito de *Oreochromis niloticus*, los cuales estuvieron expuestos a diferentes concentraciones de hidrocarburos policíclicos y metales pesados en tres lagos de Chiapas.

Falcón-Ordaz y colaboradores en 2013 realizaron un análisis de metales pesados en céstodos de la familia Dilipididae parásitos de roedores (*Peromyscus difficilis*), provenientes de un área rural poco perturbada del municipio de Otumba México, encontrando que los metales pesados fueron Al, Cd, Zn, Fe, Ni y Pb, de los cuales este último fue el que se encontró con mayor concentración, en comparación con registros previos a nivel mundial (Tabla 2).

Conclusiones

A pesar de los resultados presentados por Barus, *et al.* (2003) y Eira, *et al.* (2005) el uso de céstodos como

Tabla 2. Concentraciones (mg kg⁻¹ peso seco) de metales pesados en céstodos parásitos de algunos roedores

Especie/ Familia	Pb	Cd	Cr	Zn	Ni	Fe	Al	Referencia
<i>Cysticercus fasciolaris</i> / 4		0.12	0.21					Teimoori <i>et al.</i> , 2014
<i>Hymenolepis diminuta</i> / 1		0.37	0.39					Teimoori <i>et al.</i> , 2014
Dilepididae	31.533	ND		85.476	14.422	106.98	49.64	Falcón-Ordaz <i>et al.</i> , 2013
<i>Rodentolepis microstoma</i> / 1	0.241	0.048						Torres <i>et al.</i> , 2011
<i>Paranocephala dentata</i> / 2	4.67-11.43	0.102-0.360		156.0-199.7	0.350-0.506			Jankovská <i>et al.</i> , 2009
<i>Paranocephala dentata</i> / 2	1.60-6.83	0.305-3.641		90.7-199.0	0.350-0.699			Jankovská <i>et al.</i> , 2009
<i>Skrjabinotaenia lobata</i> */ 3	0.581	0.132						Torres <i>et al.</i> , 2006
<i>Skrjabinotaenia lobata</i> + / 3	1.229	0.169						Torres <i>et al.</i> , 2006
<i>Gallegoides sarfaai</i> / 2	0.364	0.075						Torres <i>et al.</i> , 2004
<i>Hymenolepis diminuta</i> ^ / 1	19							Sures <i>et al.</i> , 2003
<i>Hymenolepis diminuta</i> # / 1	19.5							Sures <i>et al.</i> , 2003
<i>Inermicapsifer arvicanthidis</i> / 2	1.42	0.17		584.57				Barus <i>et al.</i> , 2003
<i>Hymenolepis diminuta</i> / 1	27.2							Sures <i>et al.</i> , 2002

Datos de dos localidades en el mismo trabajo * Parque Nacional Begues a 32 Km de Barcelona, España. + Tiradero de residuos municipales Garraf en Gavã, Barcelona, España. ^ Helwan, Egipto. # Abou Rawash, Egipto. Familia de céstodo 1) Hymenolepididae, 2) Anoplocephalidae, 3) Catenotaeniidae y 4) Taeniidae.

“indicadores de bioacumulación” o centinelas en medios terrestres ha sido de gran ayuda puesto que estos organismos cumplen con varios de los puntos propuestos por Sures (2004):

Presentan un tamaño adecuado para la obtención de materia orgánica seca, además de su capacidad de absorción por presentar un tegumento vivo.

Se pueden considerar organismos centinelas con base en su alto potencial de acumulación de contaminantes en su cuerpo [lo que se ha comprobado en los diversos trabajos presentados en la Tabla 2] (Falcón-Ordaz *et al.*, 2013; Jankovská *et al.*, 2009, 2010a, 2010b, 2011; Retief *et al.*, 2006; Torres *et al.*, 2004, 2006, 2011).

Los organismos siempre se obtienen vivos, los estudios han sido puntuales de acuerdo con la localización geográfica de los hospederos, proporcionan suficiente tejido (por el tamaño que llegan a presentar) para el análisis de metales y son fáciles de coleccionar.

Con base en los trabajos de céstodos, estos organismos tienen una gran capacidad de bioacumulación de Pb y Zn. Como se observa en la Tabla 2, existen diferencias para la acumulación de estos metales dependiendo de la familia de céstodos analizados, teniendo que para el Pb las que más acumulan son Hymenolepididae y Dilipididae (cabe mencionar que de esta familia solo existe un trabajo), mientras que para el Zn es la Anoplocephalidae.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento otorgado al proyecto de Ciencia Básica “El efecto de hibridación en la diversidad de helmintos parásitos de peces del género *Xiphophorus*”, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, clave CB-2009-01-127310.

Literatura citada

Barus, V., F. Tenora, y S. Krcmar. 2000. Heavy metal (Pb, Cd) concentrations in adult tapeworms (Cestoda) parasitizing birds (Aves). *Helminthologia* 37:131-136.

Barus, V., F. Tenora, y R. Sumbera. 2003. Relative concentrations of four heavy metals in the parasites *Protospirura muricola* (Nematoda) and *Inermicapsifer arvicanthidis* (Cestoda) in their definitive host silver mole-rat (*Heliophobius argenteocinereus*: Rodentia). *Helminthologia* 40:227-232.

Barus, V., A. Simkova, M. Prokes, M. Penaz, y L. Vetesnik. 2012. Heavy metals in two host-parasite systems: tapeworm vs. fish. *Acta Veterinaria Brno* 81: 313-317.

Beeby, A. 2001. What do sentinels stand for?. *Environmental Pollution*. 112:285-298.

Billiard, S. M., y R. A. Khan. 2003. Chronic stress in cunner, *Tautoglabrus adspersus* exposed to municipal and industrial effluents. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 55:9-18.

Eira, C., J. Torres, J. Vingada, y J. Miquel. 2005. Concentration of some toxic elements in *Oryctolagus cuniculus* and in its intestinal cestode *Mosgovoyia ctenoides*, in Dunas de Mira (Portugal). *Science of the Total Environment* 346: 81-86.

Falcón-Ordaz, J., S. Monks, G. Pulido-Flores, y C. Romo-Gómez. 2013. Análisis de metales pesados en un céstodo de la familia Dilipididae. En G. Pulido-Flores, G., y S. Monks. (Ed.). *Estudios Científicos en el estado de Hidalgo y Zonas Aledañas. Volumen II. Zea Book*, University of Nebraska Lincoln. Nebraska, U.S.A. pp. 59-63.

Greichus, A. 1980. Identification and quantification of some elements in the hog roundworm, *Ascaris lumbricoides suum*, and certain tissues of its host. *International Journal for Parasitology* 10:89-91.

Jankovská, I., D. Miholová, I. Langrová, V. Bejcek, J. Vadlejch, D. Koliová, y M. Sulcs. 2009. Influence of parasitism on the use of small terrestrial rodents in environmental pollution monitoring. *Environmental Pollution* 157: 2584-2586.

Jankovska, I., D. Lukesova, J. Szakova, I. Langrova, J. Vadlejch, Z. Cadkova, P. Valek, M. Petrtyl, y M. Kudrnacova. 2011. Competition for minerals (Zn, Mn, Fe, Cu) and Cd between sheep tapeworm (*Moniezia expansa*) and its definitive host sheep (*Ovis aries*). *Helminthologia* 48: 237-243.

Jankovska, I., D. Miholová, V. Bejcek, J. Vadlejch, M. Sulc, J. Szakova, y I. Langrova. 2010a. Influence of parasitism on trace element contents in tissues of Red Fox (*Vulpes vulpes*) and its parasites *Mesocestoides* spp. (Cestoda) and *Toxascaris leonia* (Nematoda). *Archives Environmental Contamination and Toxicology* 58: 469-477.

Jankovska, I., J. Vadlejch, J. Szakova, D. Miholova, P. Kunc, I. Knizkova, y I. Langrova. 2010b. Experimental studies on the lead accumulation in the cestode *Moniezia expansa* (Cestoda: Anoplocephalidae) and its final host (*Ovis aries*). *Ecotoxicology* 19:928-932.

Lamothe-Argumedo, R. 1983. *Introducción a la Biología de los Platelminetos*. México, Distrito Federal, México. AGT Editor, S. A. 143 p.

Lamothe-Argumedo, R., y L. García-Prieto. 1988. *Helminthiasis del hombre en México. Tratamiento y profilaxis*. México, Distrito Federal, México. AGT Editor, S. A. 139 p.

Lango-Reynoso, F., C. Landeros-Sánchez, y M. del R. Castañeda Chávez. 2010. Bioaccumulation of Cadmium (Cd), Lead (Pb) and Arsenic (As) in *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), from Tamiahua Lagoon system,

- Veracruz, Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 26: 201-210.
- Malek, M., M. Haseli, I. Mobedi, M. Ganjali, y K. MacKenzie 2007. Parasites as heavy metal bioindicators in the shark *Carcharhinus dussumieri* from the Persian Gulf. *Parasitology* 134: 1053-1056.
- Marcoglise, D. J., J. J. Nagler, y D. G. Dyr. 1998. Effects of exposure to contaminated sediments on the parasite fauna of American plaice (*Hippoglossoides platessoides*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 61: 88-95.
- Market, B. A., A. M. Breure, y H. G. Zechmeister. 2003. Definitions, strategies and principles for bioindication/bio-monitoring of the environment. *En* Market, B. A., A. M. Breure, y H. G. Zechmeister. (Ed.) *Bioindicators and biomonitoring*. London, England. Elsevier Science Ltd. pp. 3-36.
- Monks, S., y G. Pulido-Flores. 2008. Helminths bioindicadores de la calidad del agua en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlan, Hidalgo, México. *En* Pulido-Flores, G., A. L. López-Escamilla, y M. T. Pulido-Silva (Eds.), *Estudios biológicos en las áreas naturales del estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. pp. 107-115.
- Monks, S., Pulido-Flores, G., Bautista-Hernández, C. E., Alemán-García, B., Falcón-Ordaz, J., y J. C. Gaytán-Oyazún. 2013. El uso de helmintos parásitos como bioindicadores en la evaluación de la calidad del agua: Lago de Tecocomulco vs. Laguna de Metztitlán, Hidalgo, México. *En* Pulido-Flores, G., y S. Monks (Eds.), *Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas Vol. II*. Lincoln, Nebraska: Zea Books. pp. 25-34.
- Oyoo-Okoth, E., A. Wim, O. Osano, M. H. Kraak, V. Ngure, J. Makwali, y P. S. Orina. 2010. Use of the fish endoparasite *Ligula intestinalis* (L. 1758) in an intermediate cyprinid host (*Rastrineobola argentea*) for biomonitoring heavy metal contamination in Lake Victoria, Kenya. *Lakes and Reservoirs. Research and Management* 15:63-73.
- Paez-Osuna, F., G. Izaguirre-Fierro, R. Godoy-Meza, F. Gonzalez-Farias, y J. I. Osuna-Lopez. 1988. Metales pesados en cuatro especies de organismos filtradores de la región costera de Mazatlan: técnicas de extracción y niveles de concentración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 4:33-41.
- Popiolek, M., A. Okulewicz, W. Dobicki, y R. Nowak. 2007. Heavy metal concentration in plerocercoids of *Triaenophorus nodulosus* (Pallas, 1781) (Cestoda: Triaenophoridae) and in different organs of their host-perch *Perca fluviatilis* (L.). *Wiadomości Parazytologiczne* 53:21-24.
- Pulido-Flores, G., S. Monks, y J. A. Gordillo-Martínez. 2005. Monitoreo de bajo costo en la evaluación de la calidad ambiental. *Revista Internacional de Ciencias Ambientales*. 21 (suppl. 1):578-583.
- Retief, N. R., A. Avenant-Oldewage, y H. du Preez. 2006. The use of cestode parasites from the largemouth yellowfish, *Labeobarbus kimberleyensis* (Gilchrist and Thompson, 1913) in the Vaal Dam, South Africa as indicators of heavy metals bioaccumulation. *Physics and Chemistry of the Earth* 31:840-847.
- Sánchez-Ramírez, C., V. M. Vidal-Martínez, M. L. Aguirre-Macedo, R. P. Rodríguez-Canul, G. Gold-Bouchot, y B. Sures. 2007. *Cichlidogyrus sclerosus* (Monogenea: Ancyrocephalinae) and its host, the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), as bioindicators of chemical pollution. *Journal of Parasitology*, 93:1097-1106.
- Sures, B. 2004. Environmental parasitology: relevancy of parasites in monitoring environmental pollution. *Trends in Parasitology* 20: 170-177.
- Sures, B., M. Franken, y H. Taraschewski. 2000. Element concentrations in the archiacanthocephalan *Macracanthorhynchus hirudinaceus* compared with those in the porcine host from a slaughterhouse in la Paz, Bolivia. *International Journal for Parasitology* 30:1071-1076.
- Sures, B., K. Grube, y H. Taraschewski. 2002. Experimental studies on the lead accumulation in the cestode *Hymenolepis diminuta* and its final host, *Rattus norvegicus*. *Ecotoxicology* 11:365-368.
- Sures, B., G. Jürges, y H. Taraschewski. 1998. Relative concentrations of heavy metals in the parasites *Ascaris suum* (Nematoda) and *Fasciola hepatica* (Digenea) and their respective porcine and bovine definitive hosts. *Hepatica*. *International Journal for Parasitology* 28:1173-1178.
- Sures, B., T. Scheible, A. R. Bashtar, y H. Taraschewski. 2003. Lead concentrations in *Hymenolepis diminuta* adults and *Taenia taeniaeformis* larvae compared to their rat hosts (*Rattus norvegicus*) sampled from the city of Cairo, Egypt. *Parasitology* 127:483-487.
- Sures, B., R. Siddall, y H. Taraschewski. 1999. Parasites as Accumulation Indicators of Heavy Metal Pollution. *Parasitology Today* 15:16-21.
- Sures, B., H. Taraschewski, y J. Rokicki. 1997. Lead and cadmium content of two cestodes, *Monobothrium wagneri* and *Bothriocephalus scorpii*, and their fish hosts. *Parasitology Research* 83:618-623.
- Teimoori, S., A. Sabour-Yaraghi, M. S. Makki, F. Shahbazi, S. Nazmara, M. B. Rokni, A. Mesdaghinia, A. Salah-Moghaddam, M. Hosseini, A. Rakhshanpour, y G. Mowlavi. 2014. Heavy metal bioabsorption capacity of intestinal helminths in urban rats. *Iranian Journal of Public Health* 43: 310-315.
- Tekin-Ozan, S., y M. Barlas. 2008. Concentrations of selected heavy metals in *Ligula intestinalis* L. 1758 plerocercoids (Cestoda) compared to its host's (*Tinca tinca* L., 1758) organs from Beysehir Lake (Turkey). *Helminthologia* 45:76-80.

- Tekin-Ozan, S., y I. Kir. 2005. Comparative study on the accumulation of heavy metals in different organs of tench (*Tinca tinca* L. 1758) and plerocercoids of its endoparasite *Ligula intestinalis*. *Parasitology Research* 97:156-159.
- Tenora, F., V. Barus, S. Kracmar, y J. Dvoracek. 2000. Concentrations of some heavy metals in *Ligula intestinalis* plerocercoids (cestoda) and *Philometra ovata* (Nematoda) compared to some of their hosts (Osteichthyes). *Helminthologia* 37:131-136.
- Tenora, F., S. Kracmar, M. Prokes, V. Barus, y J. Sitko. 2001. Heavy metal concentrations in tapeworms *Diploposthe laevis* and *Microsomacanthus compressa* parasitizing aquatic birds. *Helminthologia* 38:63-66.
- Torres, J., J. de Lapuente, C. Eira, y J. Nadal. 2004. Cadmium and lead concentrations in *Gallegoides sarfaai* (Cestoda: Anoplocephalidae) and *Apodemus sylvaticus* (Rodentia: Muridae) from Spain. *Parasitology Research* 94:468-479.
- Torres, J., C. Eira, J. Miquel, P. Foronda, y C. Feliu. 2011. Cadmium and lead concentrations in *Moniliformis moniliformis* (Acanthocephala) and *Rodentolepis microstoma* (Cestoda), and in their definitive hosts, *Rattus rattus* and *Mus domesticus* in El Hierro (Canary Archipelago, Spain). *Acta Parasitologica* 56:320-324.
- Torres, J., P. Foronda, C. Eira, J. Miquel, y C. Feliu. 2010. Trace element concentrations in *Raillietina micracantha* in comparison to its definitive host, the Feral Pigeon *Columba livia* in Santa Cruz de Tenerife (Canary Archipelago, Spain). *Archives Environmental Contamination and Toxicology* 58:176-182.
- Torres, J., J. Peig, C. Eira, y M. Borrás. 2006. Cadmium and lead concentrations in *Skrjabinotaenia lobata* (Cestoda: Catenotaeniidae) and its host, *Apodemus sylvaticus* (Rodentia: Muridae) in the urban dumping site of Garraf (Spain). *Environmental Pollution* 143:4-8.
- Turcekova, L., V. Hanzelova, y M. Spakulova. 2002. Concentration of heavy metals in perch and its endoparasites in the polluted water reservoir in Eastern Slovakia. *Helminthologia* 39:23-28.
- Villanueva, S., A. Botello, y F. Paez-Ozuna. 1998. Evaluación de algunos metales pesados en organismos del río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostion, Veracruz. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 4:19-31.
- Yen Nhi, T. T., N. A. Mohd Shazili, y F. Shaharom-Harrison. 2013. Use of cestodes as indicator of heavy-metal pollution. *Experimental Parasitology* 133:75-79.