



BIOCYT Biología, Ciencia y Tecnología, 16, 1188-1193, 2023.

<http://revistas.unam.mx/index.php/biocyt>

<https://doi.org/10.22201/fesi.20072082e.2023.16.86420>

ISSN: 2007-2082





Nota científica



Publicada en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México


## Metales pesados en tejidos y céstodos intestinales del tiburón puntas negras, *Carcharhinus limbatus* (Müller y Henle, 1839) del arrecife Santiaguillo, PNSAV, Veracruz, México

### Heavy metals in tissues and intestinal cestodes of the Blacktips shark, *Carcharhinus limbatus* (Müller and Henle, 1839) from the Santiaguillo reef, VRSNP, Veracruz, Mexico

Jesús Montoya-Mendoza<sup>1,1</sup> 0000-0002-7598-7300, Karina Elizabeth Lara Esparza<sup>2,1</sup>, María del Refugio Castañeda-Chávez<sup>3,1</sup> 0000-0002-9209-0431, Guillermo Salgado-Maldonado<sup>4,2</sup> 0000-0002-0772-0938, Fabiola Lango Reynoso<sup>5,1</sup> 0000-0001-8359-434X

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigación en Recursos Acuáticos, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río, km 12 carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Veracruz, México. C.P. 94290

<sup>2</sup>Laboratorio de Helminología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Ciudad de México. C.P. 04510

<sup>1</sup> [jesusmontoya@bdelrio.tecnm.mx](mailto:jesusmontoya@bdelrio.tecnm.mx)

<sup>2</sup>[Kareli.lara@gmail.com](mailto:Kareli.lara@gmail.com)

<sup>3</sup>[mariacastaneda@bdelrio.tecnm.mx](mailto:mariacastaneda@bdelrio.tecnm.mx)

<sup>4</sup>[gsgalado@ib.unam.mx](mailto:gsgalado@ib.unam.mx)

<sup>5</sup>[fabiolalango@bdelrio.tecnm.mx](mailto:fabiolalango@bdelrio.tecnm.mx)

## RESUMEN

Se analizó la concentración de cadmio (Cd), plomo (Pb) y cobre (Cu) en tejidos (músculo, hígado y gónada) y céstodos parásitos intestinales de especímenes de *Carcharhinus limbatus*, capturados de febrero a junio de 2019 en el arrecife Santiaguillo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Veracruz, México. Los metales pesados fueron cuantificados mediante el espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados de la concentración media de los contaminantes fueron: Pb, 0.02 a 0.06 (0.047±0.013) mg kg<sup>-1</sup>; Cd, 0.042 a 0.05 a (0.045±0.002) mg kg<sup>-1</sup>; y Cu, 0.01 a 0.06 (0.025±0.013) mg kg<sup>-1</sup>. Para los céstodos la concentración de los tres metales fue menor a 0.0028 mg kg<sup>-1</sup>. Todos los registros no excedieron los límites establecidos en la Norma Mexicana (NOM-242-SSA1-2009) La concentración de los metales pesados en los diferentes tejidos del tiburón no representan un riesgo para la salud por el consumo de *C. limbatus*.

**Palabras clave:** Helminetos; metales pesados; parásitos; tejidos; tiburón.

Manuscrito recibido el 08 de abril de 2023, aceptado el 02 de junio de 2023.

## ABSTRACT

The concentration of cadmium (Cd), lead (Pb) and copper (Cu) was analyzed in tissues (muscle, liver and gonad) and intestinal parasite cestodes of specimens of *Carcharhinus limbatus*, captured from February to June 2019 in the Santiaguillo reef of the Veracruz Reef System National Park, Veracruz, Mexico. Heavy metals were quantified using the atomic absorption spectrophotometer. The results of the mean concentration of the pollutants were: Pb, 0.02 to 0.06 (0.047±0.013) mg kg<sup>-1</sup>; Cd, 0.042 to 0.05 to (0.045±0.002) mg kg<sup>-1</sup>; and Cu, 0.01 to 0.06 (0.025±0.013) mg kg<sup>-1</sup>; for the cestodes the concentrations of the three heavy metals were less than 0.0028 mg kg<sup>-1</sup>. All the records did not exceed the limits established in the Mexican Standard (NOM-242-SSA1-2009). The concentration of heavy metals in the different tissues of the shark does not represent a health risk due to the consumption of *C. limbatus*.

**Key word:** Helminths; heavy metals; parasites; tissue; shark.

## INTRODUCCIÓN

El tiburón *Carcharhinus limbatus* (Müller y Henle, 1839) conocido localmente como tiburón puntas negras, es un tiburón de distribución mundial; en el Atlántico occidental va desde Nueva Escocia, Canadá hasta Brasil; incluyendo el golfo de México, desde Florida hasta Yucatán (Claro, 1994); en el Atlántico oriental se distribuye desde Senegal a la República Democrática del Congo, Madeira, las Islas Canarias y el Mediterráneo; en el golfo Pérsico en el Indo-Pacífico (Carpenter et al., 1997); mar Rojo, Madagascar y Sudáfrica; Australia, Tahití, Marquesas y Hawái; para el Pacífico Oriental desde Baja California, México hasta Perú, incluidas las islas Galápagos.

La pesquería artesanal de los tiburones es muy apreciada, aun cuando las poblaciones podrían estas ya colapsadas. En el golfo de México se capturan cerca de 40 especies de tiburones, los de mayor importancia comercial, se agrupan principalmente en el orden Carcharhiniformes, las especies con mayor captura son: *Rhizoprionodon terraenovae* (Richardson, 1836), *Carcharhinus acronotus* (Poey, 1861), *Squalus cubensis* (Howell, 1936), *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758) y *C. limbatus* (CONAPESCA-INP, 2004). El tiburón puntas negras *C. limbatus*, es una de las especies más apreciadas por la pesquería ribereña artesanal en el golfo de México y ocupa un lugar importante en la pesquería litoral de Veracruz (Tovar-Ávila et al., 2009).

Por otro lado, los tiburones presentan varias características que los hacen candidatos a ser considerados como bioindicadores de disturbios ambientales ocasionados por contaminantes químicos, entre los que se encuentran su longevidad, una tasa de lenta de crecimiento y por ser depredadores en la cadena alimenticia. Considerando que, al encontrarse en la parte superior de la pirámide trófica, son susceptibles de bioacumular y biomagnificar diversos tipos de contaminantes; tanto los contaminantes orgánicos persistentes como los elementos traza (Galván et al., 2014).

Algunas especies de tiburones de hábitos oceánicos acumulan altas concentraciones de metales pesados, como los registrados en Baja California Sur, en los que los niveles de mercurio en músculo del tiburón azul, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) y en el tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839) sobrepasan los estándares internacionales (FDA) para consumo humano (1.0 mg g<sup>-1</sup> peso húmedo) (Escobar-Sánchez et al., 2011).

Respecto a la detección de metales pesados en organismos del litoral veracruzano, Mendoza-Díaz et al. (2013), registraron que la concentración de mercurio, plomo, cadmio, cromo y arsénico en muestras de hígado de *C. limbatus* procedente de la laguna de Tamiahua, no rebasaron los límites máximos permisibles por la Norma Mexicana NOM-242-SSA1-2009. Por su parte Núñez-Nogueira (2005) analizó las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, molibdeno, plomo, selenio y zinc en branquias, hígado, cerebro y músculo de *C. limbatus* y *Rhizoprionodon terraenovae* Richardson, 1836 procedentes de playa Chachalacas y Puerto de Veracruz, sin que las concentraciones fueran mayores a las permitidas por la NOM-242-SSA-1-2009.

Por otro lado, detectar concentraciones de metales pesados en helmintos parásitos y proponerlos como indicadores de contaminación, es novedoso, Sures et al. (1999), sugieren que el fenómeno de acumulación conspicua de metales pesados por helmintos parásitos pueden ser utilizados en monitoreo ambiental, aunado a lo anterior, Nachev et al. (2013), registraron la capacidad de acumulación de metales pesados por el acantocéfalo *Pomphorhynchus laevis* (Zoega, 1776) y por larvas del nemátodo del género *Eustrongylides* sp., que son parásitos intestinales de *Barbus barbatus* (Linnaeus, 1758). Por su parte, Sures (2003) y Nachev y Sures (2016) señalaron que los parásitos intestinales con alimentación por absorción como los acantocéfalos, y debido a su mayor sensibilidad a los metales pesados que sus hospederos, pueden llegar a proporciones de mayor concentración de mercurio de 1 a 100. De igual manera, se han propuesto otros helmintos parásitos como los céstodos intestinales para considerarlos como indicadores de contaminación por metales pesados, basados igualmente en su alimentación por absorción (Najm y Fakhar, 2015; Keke et al., 2020).

En tanto, en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), se han registrado en sedimentos marinos metales pesados como hierro, vanadio, cromo, zinc, níquel, plomo y cobre (Rosales-Hoz et al., 2009) y Cd (Zamudio-Alemán et al., 2014); además de cadmio, cobre y plomo en macroalgas bénticas (Horta-Puga et al., 2016); y cadmio, plomo, vanadio y zinc en músculo del pez león, *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) (Montoya-Mendoza et al., 2019). Se podría agregar que estos contaminantes llegan al parque marino principalmente por las escorrentías de los ríos de La Antigua, Jamapa y Papaloapan que vierten sus aguas muy cerca de los límites del parque marino (Vázquez-Botello et al., 2004; Zamudio-Alemán et al., 2014; Horta-Puga, 2016). En el presente estudio se analizó la concentración de plomo, cadmio y cobre en tejidos y céstodos parásitos del tiburón *C. limbatus* del PNSAV.

Se examinaron cuatro especímenes de *C. limbatus*, de febrero a marzo de 2019, procedentes del PNSAV (19°08'30.00" N y 95°48'00.41" W), la colecta fue realizada por pescadores del área mediante palangre. Los tiburones fueron trasladados en contenedores de plástico con hielo al Laboratorio de Investigación en Recursos Acuáticos del Instituto Tecnológico de Boca del Río. Cada ejemplar fue identificado siguiendo las claves de FAO (2016).

En cada espécimen se registró longitud total en cm con un ictiómetro convencional y peso en g con balanza digital. Posteriormente se procedió al examen helmintológico para recolectar todos los céstodos del intestino, para asegurar la cantidad mínima de 20 gramos de tejido húmedo requeridos para aplicar la técnica correspondiente de detección de metales pesados por absorción atómica, al mismo tiempo se tomó la muestra de músculo de la parte lateral del cuerpo del pez (50 g), muestra de gónada (50 g) y muestra de hígado (50g).

Los cortes se realizaron con un bisturí con navajas de acero inoxidable nuevas y las muestras se colocaron en bolsas con sello hermético y se almacenaron a -20 °C hasta tener el total de las muestras, los tejidos y parásitos fueron procesadas siguiendo las normas de procedimientos operativos que minimizan el riesgo de contaminación cruzada (Codex Alimentarius, 2017). Las muestras se liofilizaron (músculo, hígado y parásitos durante 58 horas, y gónadas por 24 horas), luego fueron trituradas y pasadas a digestión ácida siguiendo la técnica de la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, utilizando 0.5 g de peso seco en un vaso de teflón de HP-500 con 10 ml de HNO<sub>3</sub> grado reactivo al 70% y pasadas al horno de microondas durante 15 minutos a una temperatura de 150 °C (cinco minutos) y 190 °C (10 minutos).

Las muestras se filtraron en una botella Nalgene con filtros de membrana nitrocelulosa millipore de 0.45 µm, la solución obtenida se aforó a 50 ml con agua destilada. Las muestras fueron homogeneizadas y refrigeradas a ± 4 °C hasta completar las muestras. Las lecturas de plomo (Pb), cadmio (Cd) y cobre (Cu) se realizaron en el espectrofotómetro de absorción atómica marca Thermo Scientific Modelo Ice 30500 AA System, mediante el método de absorción atómica por flama, siguiendo la técnica

recomendada por la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994. La concentración de cada uno de los metales fue comparada con la norma mexicana NOM-242-SSA-1-2009 y con las recomendaciones internacionales de Comité Mixto FAO/OMS (Codex Alimentarius, 2017). Se analizó la normalidad de los datos mediante la Prueba de Kolmogorov-Smirnov, así como la variación de la concentración de Pb, Cd, y Cu, entre músculo, gónada, hígado y céstodos mediante ANOVA ( $P < 0.05$ ) (Zar, 2010).

Se examinaron cuatro ejemplares de *C. limbatus* (tres machos y una hembra), con longitud total de 120 a 140 cm ( $129.3 \pm 9.8$ ) y peso de 5.0 a 6.0 kg ( $5.6 \pm 0.6$ ). El promedio general de los metales pesados en peso seco de tejidos y parásitos, para plomo fue de 0.02 a 0.06 ( $0.047 \pm 0.013$ ) mg kg<sup>-1</sup>, para cadmio fue de 0.042 a 0.05 a ( $0.045 \pm 0.002$ ) mg kg<sup>-1</sup> y para Cu fue de 0.01 a 0.06 ( $0.025 \pm 0.013$ ) mg kg<sup>-1</sup>. Los céstodos recolectados del intestino de los tiburones correspondieron a seis tipos, ubicados en cinco familias, Eutetrarhynchidae gen., sp. (80 gusanos); Disculicepitidae, *Disculiceps pileatus* (Linton, 1890) (467 gusanos); Onchobothriidae, *Phoreiobothrium* sp. (120 gusanos); Phyllobothriidae, *Thysanocephalum thysanocephalum* (Linton, 1889) (667 gusanos), *Paraorygmatobothrium sinuspersicense* (Malek, Caira y Haseli, 2010) (253 gusanos); Tentaculariidae, *Nybelinia* sp. (459 gusanos).

Los gusanos recuperados fueron analizados en conjunto y en relación a cada espécimen de tiburón, debido a la cantidad en gramos requeridos para la aplicación de la técnica por absorción atómica. Los resultados mostraron que las concentraciones de los metales pesados para los céstodos fueron menores a las detectables por la técnica, que es de 0.0028 mg kg<sup>-1</sup> para Cd, Pb y Cu. En la [Tabla 1](#) se presentan las concentraciones promedio de los contaminantes para los diferentes tejidos de los tiburones. Las concentraciones promedio general en orden descendente fueron Pb>Cd>Cu; de forma similar fue para músculo e hígado (Pb>Cd>Cu) y diferente orden para gónada (Cd>Pb>Cu).

**Tabla 1.** Concentración de metales pesados en tejidos de *C. limbatus* del arrecife Santiaguillo, PNSAV, Veracruz/ **Table 1.** Concentration of heavy metals in tissues of *C. limbatus* from the Santiaguillo reef, PNSAV, Veracruz.

Tejido	Concentración media, (peso seco) (mg kg <sup>-1</sup> ) (media ± DS), (mín-máx)		
	cadmio	plomo	cobre
músculo	0.044 ± 0.001 (0.043 a 0.045)	0.051 ± 0.007* (0.044 a 0.061)	0.012 ± 0.004 (0.01 a 0.018)
gónada	0.05 ± 0.004 (0.042 a 0.05)	0.032 ± 0.009 (0.02 a 0.04)	0.029 ± 0.008* (0.017 a 0.04)
hígado	0.045 ± 0.001 (0.045 a 0.048)	0.057 ± 0.005* (0.05 a 0.062)	0.033 ± 0.02* (0.024 a 0.057)

\*, diferencias estadísticas entre grupos ( $P < 0.05$ ).

Los resultados de las concentraciones de metales pesados en los tejidos de los tiburones mostraron una distribución normal y mostraron diferencias estadísticas ([Tabla 1](#),  $p < 0.05^*$ ) en la concentración de los metales pesados respecto a cada tejido. La mayor concentración detectada en general fue para Pb, con mayor registro en músculo e hígado, con proporción de hasta 1:1.5 entre hígado y gónada. Para el Cu, la mayor concentración se registró en hígado y gónada, con la mayor proporción entre hígado y músculo (1:3). En tanto para cadmio no se observaron diferencias estadísticamente significativas para los tejidos analizados.

De acuerdo con la Norma Mexicana NOM- 242-SSA-1-2009, los contaminantes analizados no rebasaron los límites permitidos de 0.5 mgkg<sup>-1</sup> en peso húmedo de tejidos contaminados por Pb y Cr, pero el cobre aún no está incluido en la lista de la norma como contaminantes de riesgo. Sin embargo, se detectó la presencia de los tres contaminantes. Por otro lado, el Pb, tampoco rebasó los límites

internacionales de 2.0 mg kg<sup>-1</sup> en peso húmedo según la FAO/OMS (Codex Alimentarius, 2017). En tanto, las concentraciones de los metales pesados en los céstodos fueron indetectables (<0.0028 mg kg<sup>-1</sup>), por lo que no se puede establecer, que en la relación hospedero-parásitos se favoreciera la absorción de contaminantes por los parásitos intestinales, como se ha señalado para otras especies de hospederos y sus helmintos parásitos, por lo tanto, no se pueden proponer como especies indicadores de contaminación para metales pesados en el PNSAV, lo cual hace suponer que está llegando menor cantidad de metales pesados al mar (Rosales-Hoz et al., 2009; Horta-Puga et al., 2016; Zamudio-Alemán et al., 2014).

Por otro lado, tampoco se ha registrado bioacumulación en tejidos de organismos marinos como del pez león (Montoya-Mendoza et al., 2019), de igual forma no se observó bioacumulación en tejidos o en los céstodos parásitos de *C. limbatus*. Sin embargo, la contaminación por metales pesados aunque persiste no se considera un riesgo para la salud humana al consumir productos de esta especie de tiburón, puesto que no se rebasa la frecuencia de consumo percapita de este producto marino, manteniéndose dentro de los límites provisionales de ingesta semanal tolerable para Pb y otros metales pesados, de 25 µg kg<sup>-1</sup> de peso corporal según la FAO/WHO (WHO, 2011; 2018), debido a que en México, el peso corporal medio del país es de 75 kg y el consumo anual per cápita de pescado es de 230 g (CONAPESCA, 2017).

## REFERENCIAS

- Carpenter, F., ...y Zajontz, U. (1997). Recursos marinos vivos de Kuwait, el este de Arabia Saudita, Bahrein, Qatar y los Emiratos Árabes Unidos. *Guía de campo de identificación de especies de la FAO para fines pesqueros*. FAO. <https://www.fao.org/3/v8729e/v8729e00.htm>
- Claro, R. (1994). Características generales de la ictiofauna. En R. Claro (Ed.), *Ecología de los peces marinos de Cuba* (pp. 55-70). Instituto de Oceanología, Academia de Ciencias de Cuba y Centro de Investigaciones de Quintana Roo.
- Codex Alimentarius. (2017). *Norma General Para los Contaminantes y las Toxinas Presentes en los Alimentos y Piensos*; CODEX STAN 193-1995; Normas Internacionales de los Alimentos; FAO-OMS. FAO. [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/livestockgov/documents/CXS\\_193s.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf)
- CONAPESCA-INP (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca-Instituto Nacional de la Pesca). (2004). *Plan de acción nacional para el manejo y conservación de tiburones, rayas y especies afines en México*. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca e Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca). (2017). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca*. [https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/2017/ANUARIO\\_ESTADISTICO\\_2017.pdf](https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/2017/ANUARIO_ESTADISTICO_2017.pdf)
- Escobar-Sánchez, O., Galván-Magaña, F. y Rosiles-Martínez, R. (2011). Biomagnification of mercury and selenium in blue shark *Prionace glauca* from the Pacific Ocean Mexico. *Biological Trace Element Research*, 144(1-3), 550-559. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9040-y>
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2016). *Identification guide to common sharks and rays of the Caribbean*. FAO. <https://www.fao.org/publications/card/ar/c/0c784a13-6696-4180-a768-bee7f6976467/>
- Galván, F. M., ...y Torres, Y. E. R. (2014). Los tiburones como bioindicadores de contaminantes y cambios tróficos en los ecosistemas marinos. En C. A. Z. González, ...y A. M. P. Low (Eds.), *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental* (pp. 367-386). El Colegio de la Frontera Sur-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Horta-Puga, G., ...y Arenas-Fuentes, V. (2016). Heavy metals in macroalgae from the Veracruz Reef System. *Revista Bio Ciencias*, 3(4), 326-339. <https://doi.org/10.15741/revbio.03.04.07>
- Keke, U. N., ...y Omalu, I. C, J. (2020). Biomonitoring of effects and accumulations of heavy metals insults using some helminth parasites of fish as bio-indicators in an afro-tropical stream. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 576080. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.576080>



- Mendoza-Díaz, F., ...y Basáñez-Muñoz, A. (2013). Concentración de Hg, Pb, Cd, Cr y As en hígado de *Carcharhinus limbatus* (Carcharhiniformes: Carcharhinidae) capturado en Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 61(2), 821-828. <https://doi.org/10.15517/rbt.v61i2.11225>
- Montoya-Mendoza, J., ...y Zamudio-Alemán, R. E. (2019). Heavy metals in muscle tissue of *Pterois volitans* from the Veracruz Reef System National Park, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(23), 4611. <https://doi.org/10.3390/ijerph16234611>
- Nachev, M., Schertzingler, G. y Sures, B. (2013). Comparison of the metal accumulation capacity between the acanthocephalan *Pomphorhynchus laevis* and larval nematodes of the genus *Eustrongylides* sp. infecting barbel (*Barbus barbus*). *Parasites & Vectors*, 6, 21. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-21>
- Nachev, M. y Sures, B. (2016). Environmental parasitology: Parasites as accumulation bioindicators in the marine environment. *Journal of Sea Research*, 113, 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.06.005>
- Najm, M. y Fakhar, M. (2015). Helminthic parasites as heavy metal bioindicators in aquatic ecosystems. *Medical Laboratory Journal*, 9(4), 26-32. <https://doi:10.18869/acadpub.mlj.9.4.26>
- NOM-117-SSA1-1994. (1994). Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, Secretaría de Salud, Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4869827&fecha=23/02/1995#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4869827&fecha=23/02/1995#gsc.tab=0)
- NOM-242-SSA1-2009. (2009). Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba. Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009. Secretaría de Salud, Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4295/salud2a/salud2a.htm>
- Núñez-Nogueira, G. (2005). Concentration of essential and non-essential metals in two shark species commonly caught in Mexican (Gulf of Mexico) coastline. En A. V., Botello, ...y C., Agraz-Hernández (Eds.), *Golfo de México contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias* (pp. 451-474). Universidad Autónoma de Campeche-Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de Ecología.
- Rosales-Hoz, L., ...y Rivera-Ramírez, F. (2009). Distribution of dissolved trace metals around the Sacrificos coral reef island, in the Southwestern Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83, 713-719. <https://doi.org/10.1007/s00128-009-9813-6>
- Sures, B., ...y Taraschewski, H. (1999). Parasites as accumulation indicators of heavy metal pollution. *Trends in Parasitology*, 15(1), 16-21. [https://doi.org/10.1016/S0169-4758\(98\)01358-1](https://doi.org/10.1016/S0169-4758(98)01358-1)
- Sures, B. (2003). Accumulation of heavy metals by intestinal helminths in fish: an overview and perspective. *Parasitology*, 126(7), S53-S60. <https://doi:10.1017/s003118200300372x>
- Tovar-Ávila, J., Arenas-Fuentes, V. y Chiappa-Carrara, X. (2009). Edad y crecimiento del tiburón puntas negras *Carcharhinus limbatus*, en el Golfo de México. *Ciencia Pesquera*, 17(1), 47-58.
- Vázquez-Botello, A., Villanueva-Fragoso, S. y Rosales-Hoz, L. (2004). Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México. En M., Caso, I., Pisantry y E., Ezcurra (Eds.) *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México* (pp. 683-686). SEMARNAT-INE-Instituto de Ecología A.C.-Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies.
- WHO (World Health Organization). (2011). Evaluation of certain food additives and contaminants: Seventy-third report of the joint FAO/WHO Expert committee on food additives; WHO Technical Series No. 960. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44515>
- WHO (World Health Organization). (2018). *Intoxicación por plomo y salud*. World Health Organization: Geneva, Switzerland. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Zamudio-Alemán, R. E., ...y Romero-González, L. (2014). Metales pesados en sedimento marino del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(4), 159-168.
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall/Pearson.