

PRIMER REGISTRO DE CONCENTRACIÓN DE ZINC Y COBRE EN *Sphyrna tiburo*: BIOINDICADOR DE LA SALUD DE LA COSTA DE CAMPECHE, MÉXICO

First record of copper and zinc concentrations in *Sphyrna tiburo*: bioindicator of Campeche, Mexico, coast health

Teresa ESPARZA-MAY^{1*}, Magdalena E. BERGÉS-TIZNADO², Carolina BOJÓRQUEZ-SÁNCHEZ²,
Yassir E. TORRES-ROJAS¹ y Federico PÁEZ-OSUNA³

¹ Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. Avenida Héroe de Nacozari 480, San Francisco de Campeche, C. P. 24079, Campeche, México.

² Universidad Politécnica de Sinaloa, Carretera Municipal Libre Mazatlán-Higueras kilómetro 3, Mazatlán, C. P. 82199, Sinaloa, México.

³ Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Joel Montes Camarena, C. P. 82040, Mazatlán, Sinaloa, México.

*Autora para correspondencia: al047723@uacam.mx

(Recibido: octubre 2021; aceptado: febrero 2023)

Palabras clave: tiburón, oligoelementos, Golfo de México, metales.

RESUMEN

Se evaluó la concentración de zinc (Zn) y cobre (Cu) en 43 muestras de hígado y 77 de músculos del tiburón cabeza de pala (*Sphyrna tiburo*), como indicador del estado de salud de las costas de Campeche durante los años 2015, 2016 y 2019. Las comparaciones entre tejidos muestran consistentemente una menor concentración en el músculo (Zn = 19.8 ± 20.3 mg/kg; Cu = 0.67 ± 0.02 mg/kg) en comparación con el hígado (Zn = 31.0 ± 18.7 mg/kg; Cu = 3.56 ± 0.97 mg/kg). La concentración de Zn en el hígado fue influenciada por el sexo, ya que los niveles de Zn en el hígado de las hembras (34.8 ± 19.50 mg/kg) fue significativamente mayor que en el de los machos (24.5 ± 15.95 mg/kg). Se observó una disminución en la concentración de ambos metales a través de los años tanto en hígado (Zn 2015 = 32.5, 2016 = 31.8, 2019 = 14.7 y Cu 2015 = 3.36, 2016 = 3.89, 2019 = 3.18), como en músculo (Zn₂₀₁₅ = 15.0, 2016 = 32.0, 2019 = 4.20 y Cu 2015 = 0.69, 2016 = 0.67, 2019 = 0.24). La concentración de Zn y Cu en músculo no sobrepasó los límites máximos permitidos por normas internacionales para consumo humano (Zn = 40 mg/kg, Cu = 10 mg/kg), por lo tanto, se puede concluir que *S. tiburo* como bioindicador de salud referente a estos dos oligoelementos, actualmente no representa un riesgo para la salud de los consumidores.

Key words: shark, trace elements, Gulf of Mexico, metals.

ABSTRACT

Zinc (Zn) and copper (Cu) concentrations were evaluated in 43 samples of liver and 77 of the muscle of the bonnethead shark (*Sphyrna tiburo*) as an indicator of the health status of Campeche coasts in the years 2015, 2016, and 2019. Inter-tissue comparisons consistently show a lower concentration in muscle (Zn = 19.8 ± 20.3 mg/kg; Cu = 0.67 ± 0.02 mg/kg) compared to liver (Zn = 31.0 ± 18.7 mg/kg; Cu = 3.56 ± 0.97 mg/kg).

Zn concentration in the liver was influenced by sex since levels in the liver of females (34.8 ± 19.50 mg/kg) were significantly higher than in males (24.5 ± 15.95 mg/kg). A decrease in the concentration of both metals was observed over the years both in the liver (Zn 2015 = 32.5, 2016 = 31.8, 2019 = 14.7 and Cu 2015 = 3.36, 2016 = 3.89, 2019 = 3.18) and in muscle (Zn 2015 = 15.0, 2016 = 32.0, 2019 = 4.20 and Cu 2015 = 0.69, 2016 = 0.67, 2019 = 0.24). The concentration of Zn and Cu in muscle did not exceed the maximum permissible limits by international standards for human consumption (Zn = 40 mg/kg, Cu = 10 mg/kg). Therefore, *S. tiburo*, as a bioindicator regarding these two trace elements, currently does not represent a health risk to consumers.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales actividades que se realiza en las costas de Campeche es la extracción de petróleo (INEGI 2016) la cual se caracteriza por la presencia de compuestos azufrados, orgánicos y metales pesados (Noguera et al. 2010). Entre los metales pesados que están presentes en el petróleo se encuentran los metales de transición zinc (Zn) y cobre (Cu), también considerados elementos esenciales (Mendoza-Díaz 2010) por ser componentes estructurales y catalíticos de proteínas y enzimas (Moreno-Sierra et al. 2016). Probablemente, dado que son esenciales, su estudio ha sido considerado de menor importancia, sin embargo, la presencia de Cu y Zn en altas concentraciones puede ocasionar alteraciones a nivel ecosistema, como disminución de la productividad, pérdida de la biodiversidad (Cruz-Casanova 2013) y a la salud humana (Aguilar-Ucán et al. 2013, Moreno-Sierra et al. 2016).

Diversos estudios a nivel internacional reportan que peces expuestos a altas concentraciones de Cu y Zn procedentes del agua y los sedimentos en los que viven, a través de sus branquias, así como por medio de la cadena alimenticia, pueden desarrollar efectos letales y subletales (Velasco-Santamaría et al. 2006, Solomon 2009). Niveles altos de Cu en organismos marinos (> 10 mg/kg) particularmente en peces, provocan que las branquias se desgasten y pierdan su habilidad para regular el transporte de sales, asimismo afectan la activación de las neuronas receptoras olfativas, lo que altera el sentido para encontrar alimento (Nauen 1983, Solomon 2009). De igual forma niveles altos de Zn (> 50 mg/kg) provocan daños en los sistemas reproductivo, nervioso y locomotor (Nauen 1983, ATSDR 2016).

En el Golfo de México existen estudios relacionados con la concentración de oligoelementos (en específico Cu y Zn) en organismos marinos, entre los que destacan los realizados en bivalvos, crustáceos (Aguilar-Ucán et al. 2013, Baruch-Garduza et al.

2022) y tiburones (Núñez-Nogueira 2005, Baños-Baños et al. 2022). Dado que la región del Golfo de México se caracteriza por presentar constantemente riesgos de impactos antrópicos, como el derrame de petróleo ocurrido en la zona sur durante la perforación del pozo Ixtoc-I en la costa de Campeche, surge la necesidad de conocer el estado ecológico ambiental mediante el uso de bioindicadores.

La región suroeste del Golfo de México (costa de Campeche) se caracteriza por presentar diferentes pesquerías con una gran importancia económica, entre las que destaca la captura de elasmobranquios, donde resalta el tiburón cabeza de pala (*Sphyrna tiburo*) que se distribuye en dicha región durante todo el año (Márquez-Farías et al. 1998, CONAPESCA 2004). *S. tiburo* presenta una dieta que depende de la temporada del año (Cortes et al. 1996, Ayala-Pérez et al. 2015, Viana 2019) pero que se basa principalmente en presas de niveles tróficos bajos como crustáceos (Fischer et al. 1995, Haman et al. 2012), por lo que es considerada como una potencial especie bioindicadora de la salud del ecosistema.

Dado que el suroeste del Golfo de México se caracteriza por capturar y exportar recursos como *S. tiburo*, en especial para consumo humano, el presente estudio evalúa por primera vez las concentraciones de los metales esenciales Cu y Zn en el músculo e hígado de esta especie, así como sus posibles variaciones intraespecíficas considerando el sexo y los años de muestreo (2015, 2016, 2019). El evaluar las concentraciones de Cu y Zn en un meso depredador como *S. tiburo* permitirá contar con un bioindicador (hígado) de la salud del ecosistema, así como los posibles efectos que puede ocasionar su consumo (músculo).

MATERIALES Y MÉTODOS

Trabajo de campo

La obtención de las muestras de hígado y músculo se llevó a cabo durante las temporadas seca (febrero

a mayo), de lluvia (junio a septiembre) y norte (octubre a enero; Yáñez-Arancibia et al. 1988) en los años 2015, 2016 y 2019. Se utilizaron organismos provenientes de la pesca artesanal de tiburón, la que utiliza una red de monofilamento y opera a lo largo de la costa campechana (**Fig. 1**). Para cada organismo se obtuvieron los datos morfométricos como la longitud total (LT en cm) y el sexo. A cada individuo se le extrajo aproximadamente 5 g de músculo (dorsal) y el hígado, los cuales se etiquetaron y almacenaron para ser trasladados al laboratorio de Ecología Trófica del Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX).

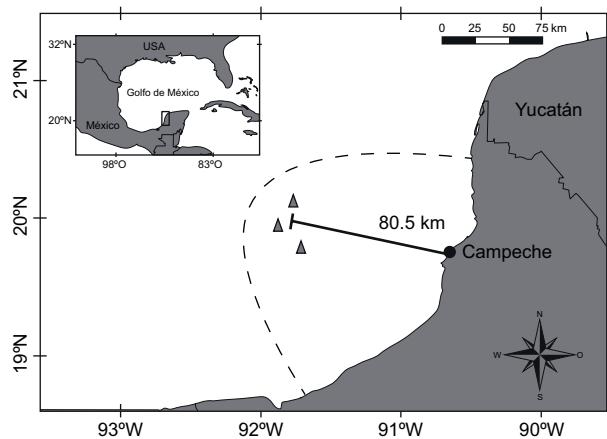


Fig. 1. Área de estudio. Los triángulos ▲ representan los sitios de los lances de captura de *Sphyraena tiburo* analizado; la línea punteada representa el área de operación por parte de la flota artesanal de San Francisco de Campeche.

Determinación de Cu y Zn

La preparación de muestras para el análisis de Cu y Zn fue realizada de acuerdo con Bergés-Tiznado et al. (2015), la que consistió en: 1) cálculo del porcentaje de humedad para cada tejido, con base en los 5 g colectados, los que se secaron en un horno a 50 °C durante 72 h, para posteriormente calcular porcentajes de acuerdo con la NOM- 116- SSA1- 1994 (SSA 1994); 2) se homogeneizaron los tejidos en un mortero de ágata, se tomó una alícuota de 0.25 g que fue transferida a recipientes de teflón (Savillex, capacidad de 60 mL) para su digestión; 3) la primera etapa de la digestión consistió en agregar 5 mL de ácido nítrico (HNO_3 concentrado 70 %, grado metales traza, JT Baker) a cada recipiente, en el caso de hígados, se les añadió 2 mL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y se dejaron en predigestión por 24 h; 4) en la segunda etapa de la digestión, los recipientes se

colocaron en una plancha de calentamiento a 110 °C durante 3 h; 5) como última etapa de la preparación, las muestras fueron llevadas a un volumen final de 20 mL con agua purificada y se almacenaron en recipientes de polietileno.

La determinación de las concentraciones de Zn se realizó por espectrofotometría de absorción atómica (EAA) acoplada a flama (SpectrAA, Varian), mientras que para el Cu se realizó por EAA acoplada a horno de grafito. Los datos de las concentraciones obtenidas se reportan como mg del elemento/kg de peso fresco. Para la validación de la metodología analítica se empleó el material de referencia de hígado de pez DOLT-5 (hígado de tiburón *Squalus acanthias* Zn = 105.3 ± 5.4 ; Cu = 35.0 ± 2.4 mg/kg), corriendo blancos (HNO_3) y muestras por duplicado. Posteriormente, los resultados fueron comparados con los valores certificados y se obtuvieron los porcentajes de recuperación por elemento (**Cuadro I**). Los límites de detección para Cu y Zn en el EEA fueron de 0.45 $\mu\text{g/L}$ para Cu y 0.02 mg/L para Zn con un coeficiente de variación (CV) de 1.89 y 1.78 %, respectivamente.

CUADRO I. VALORES PROMEDIO (\pm DE) DE RECUPERACIÓN DEL MATERIAL DE REFERENCIA DOLT-5

Elemento	Valor certificado (mg/kg)	Valor encontrado (mg/kg)	Porcentaje de recuperación (%)
Cu	35.0 ± 2.4	36.4 ± 3.4	103.9 ± 9.7
Zn	105.3 ± 5.4	96.7 ± 6.8	91.8 ± 6.4

DE = desviación estándar

Análisis estadísticos

Dado que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad ($W = 0.56$, $p < 0.05$) de las pruebas aplicadas, se utilizó estadística no paramétrica (programa Statistica 7). Se usó la prueba U Mann-Whitney para las comparaciones entre las concentraciones de elementos entre tejidos (hígado vs. músculo), en cada tejido entre sexo (como músculo de machos vs. músculo de hembras). De igual manera se aplicó la prueba de correlación de Spearman (ρ) para los niveles de los metales en los tejidos y para las variables biológicas (como talla en cm). Para comparar las concentraciones de Zn y Cu entre años de muestreo (2015, 2016, 2019) y temporadas (seca, norte y lluvia) se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis (Zar 2010).

RESULTADOS

Datos generales

Se recolectaron un total de 95 organismos, 69 hembras y 26 machos y se analizó la concentración de Cu y Zn en 43 hígados y 77 muestras de músculo (LT > 77 cm). La temporada de lluvia fue la que presentó un mayor número de organismos (**Cuadro II**). La longitud total de hembras fue significativamente mayor a la de los machos, ya que en promedio midieron 98.7 ± 13.7 cm en comparación de 80.0 ± 4.2 cm de los machos ($U = 272.50$, $p < 0.05$). Se encontraron diferencias significativas ($H_{(3, N=190)} = 9.19$, $p < 0.05$) al comparar la LT promedio por años (**Cuadro III**). En lo que respecta a los porcentajes de humedad de cada tejido, se observó diferencia significativa ($U = 13$, $p < 0.05$) donde el músculo presentó un promedio mayor (74.7 ± 4.2 %) en comparación con el hígado (34.1 ± 12.7 %).

Concentración promedio de Cu y Zn

En el hígado (**Fig. 2a**), la concentración de Zn (11.0-106.3 mg/kg) fue significativamente mayor ($U = 0.00$, $p < 0.05$) que la de Cu (0.01-6.07 mg/kg). La misma tendencia se observó en el músculo (**Fig. 2b**), siendo la concentración de Zn (1.30-145.27 mg/kg) significativamente mayor ($U = 2.00$, $p < 0.05$) que la de Cu (0.04-2.28 mg/kg).

Por sexo, no se encontraron diferencias significativas ($U = 160.00$, $p = 0.15$) con relación a las concentraciones Cu en el hígado (machos = 3.32 ± 1.03 mg/kg; hembras = 3.70 ± 0.93 mg/kg), pero si se encontraron diferencias significativas ($U = 117.00$, $p < 0.05$) en las concentraciones de Zn entre las hembras (34.8 ± 19.5 mg/kg) y los machos (24.5 ± 15.9 mg/kg). En el músculo, no se encontraron diferencias significativas ($U = 611.00$, $p = 0.46$) en la concentración de Zn en hembras (21.1 ± 22.2 mg/kg) y machos (15.16 ± 10.0 mg/kg), pero si

CUADRO III. DESCRIPCIÓN MORFOMÉTRICA PARA MACHOS Y HEMBRAS DE *S. tiburo* RECOLECTADOS POR AÑOS DE MUESTREO.

Año	n	LT (cm)		Promedio (\pm DE)
		Mínimo	Máximo	
2015				
Macho	18	77.0	82.0	$80.0 \pm 1.5^*$
Hembra	41	77.0	120.0	$103.5 \pm 10.8^*$
2016				
Macho	8	77.0	94.0	81.9 ± 6.5
Hembra	26	74.0	114.0	92.4 ± 14.7
2019				
Macho	1	67.0	67.0	67.0
Hembra	2	71.0	95.0	83.0 ± 17.0
Total				
Macho	26	67.0	94.0	$80.0 \pm 4.2^*$
Hembra	69	71.0	120.0	$98.7 \pm 13.7^*$

LT = longitud total; n = número de individuos; DE = desviación estándar, * = diferencia significativa ($p < 0.05$) entre sexos.

se encontraron diferencias significativas ($U = 345.00$, $p < 0.05$) en la concentración de Cu entre hembras (0.71 ± 0.30 mg/kg) y machos (0.53 ± 0.20 mg/kg).

Entre años de muestreo (**Cuadro IV**), no se encontraron diferencias significativas en hígado respecto a las concentraciones de Cu ($H_{(2, N=43)} = 2.89$, $p = > 0.05$) y Zn ($H_{(2, N=43)} = 5.91$, $p = > 0.05$); mientras que en el músculo sí se encontraron diferencias significativas en la concentración de Zn ($H_{(2, N=78)} = 19.22$, $p = 0.0001$) y Cu ($H_{(2, N=78)} = 0.09$, $p = 0.0175$) obteniendo concentraciones más altas en los años 2015 y 2016 en comparación con 2019.

Correlación de Cu y Zn con la longitud total y entre tejidos

Respecto a la longitud total, no se encontraron correlaciones significativas de Cu ($\rho = 0.18$, $p > 0.05$)

CUADRO II. NÚMERO DE INDIVIDUOS ESTUDIADOS POR AÑO Y TEMPORADA.

Temporada	Hígado						Músculo					
	2015		2016		2019		2015		2016		2019	
	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H
Seca	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lluvia	4	8	5	6	0	0	2	28	1	20	0	0
Norte	4	6	1	4	1	2	13	8	1	1	1	2
Total	23		17		3		51		23		3	

M = macho; H = hembra

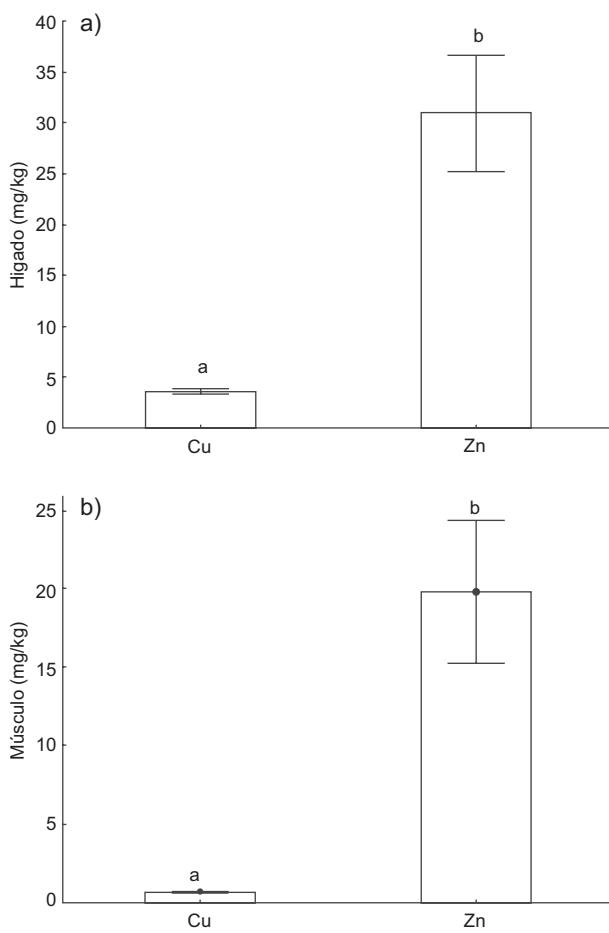


Fig. 2. Concentración promedio de Cu y Zn (mg/kg) en el a) hígado y b) músculo de *Sphyrna tiburo*. Distinta letra sobre la barra de desviación estándar indica diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada tejido.

CUADRO IV. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE Cu Y Zn (\pm DE) EN LOS DIFERENTES TEJIDOS DEL ORGANISMO *Sphyrna tiburo* POR AÑOS DE MUESTREO.

Tejido	Año	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Músculo	2015	15.0 \pm 8.5 ^a	0.69 \pm 0.3 ^b
	2016	32.0 \pm 31.3 ^b	0.67 \pm 0.2 ^b
	2019	4.20 \pm 2.14 ^a	0.24 \pm 0.06 ^a
Hígado	2015	32.5 \pm 20.3	3.36 \pm 0.79
	2016	31.8 \pm 17.3	3.89 \pm 1.19
	2019	14.7 \pm 1.6	3.18 \pm 0.30

Letras diferentes indican que los promedios son significativamente diferentes ($p < 0.05$) entre años de muestreo por tejido y por elemento analizado; DE = desviación estándar.

y Zn ($\rho = 0.18$, $p > 0.05$) en músculo de *S. tiburo*, sin embargo, en el hígado, sí existe una correlación positiva significativa en el año 2015 entre el Cu y la LT ($\rho = 0.44$, $p < 0.05$; **Fig. 3**). Es decir, que a medida que el individuo aumenta su talla incrementa su concentración de Cu. Mientras que, entre tejidos, se correlacionó positiva y significativamente la concentración de Zn en el hígado y el músculo ($\rho = 0.70$, $p < 0.5$; **Fig. 4a**), así como la concentración de Zn en el hígado respecto al Cu en el músculo ($\rho = 0.43$, $p < 0.05$; **Fig. 4b**).

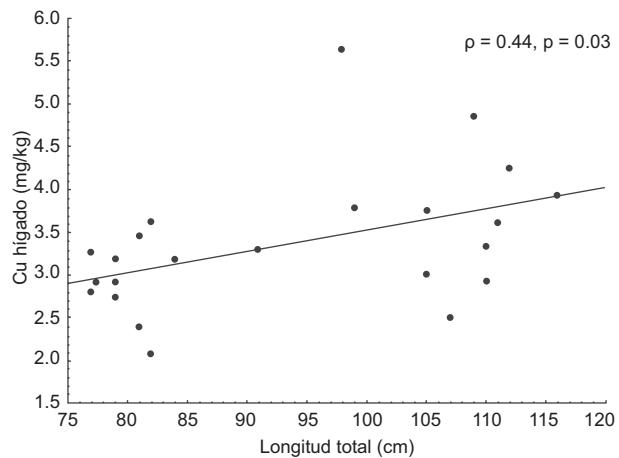


Fig. 3. Correlación de la concentración de Cu en el hígado (mg/kg) respecto a la longitud total de los organismos recolectados en el año 2015.

DISCUSIÓN

De acuerdo con las longitudes totales obtenidas de *S. tiburo*, todos los organismos sobrepasaron la talla de primera madurez. En promedio, las hembras maduran a los 84 cm cuando muestran evidencia de preñez, mientras que los machos entre 52 y 75 cm cuando sus pterigopodios muestran calcificación (Márquez-Farías et al. 1998, Frazier et al. 2014). Por lo tanto, en el presente trabajo todos los individuos capturados por pesca artesanal fueron considerados adultos.

El periodo donde *S. tiburo* registra una mayor presencia en Campeche es de junio a octubre, con máximas en agosto (CONAPESCA 2004) el cual corresponde a la temporada de lluvia y donde hubo un mayor registro de hembras adultas en el presente estudio. Este comportamiento o tendencia podría estar relacionado con la temporada de reproducción de *S. tiburo*.

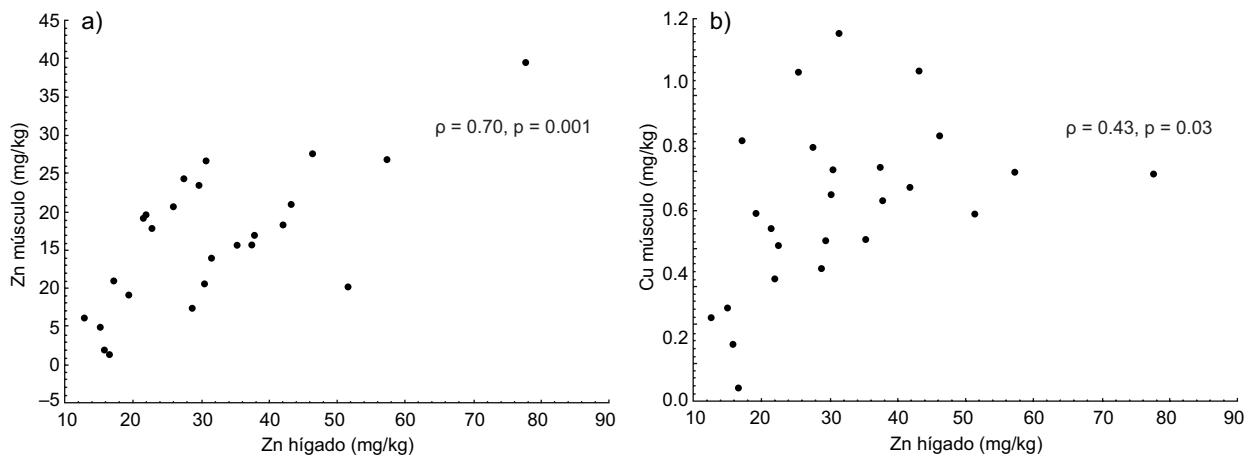


Fig. 4. Correlación positiva entre las concentraciones promedio de Zn en hígado (mg/kg) con a) Zn en músculo y b) Cu en músculo.

tiburo en las costas de Campeche, ya que las hembras suelen presentar mayores tallas y abundancia que los machos (Ebert et al. 2013, Frazier et al. 2014) y durante este periodo paren a sus crías (Viana 2019).

La diferencia encontrada en el porcentaje de humedad entre los tejidos puede estar relacionada con las funciones fisiológicas propias de cada uno de ellos (Papagiannis et al. 2004). En los elasmobranquios, el hígado presenta un alto contenido lipídico (38-70 %) en comparación con el músculo (< 3 %; Pethybridge et al. 2010, Pethybridge et al. 2014). El hígado (90 % compuesto por aceite) comúnmente representa entre el 5 y el 15 % del peso corporal total (Van Vleet et al. 1984) lo que explica el bajo contenido de agua (30 %) en comparación con el músculo (70 %).

Al comparar el porcentaje de humedad en tejidos del presente estudio (*S. tiburo*) con otras especies de peces óseos como *Istiophorus platypterus* y *Coryphaena hippurus* (que suelen presentar porcentajes de humedad similares entre músculo e hígado; Berges-Tiznado 2016), se observó que a menor porcentaje de humedad mayor concentración de metales. Por lo tanto, la humedad en el tejido podría tener un papel relevante en la concentración de oligoelementos en *S. tiburo*.

Concentración de Zn y Cu en *Sphyrna tiburo*

En ambos tejidos (hígado y músculo) de *S. tiburo*, la concentración de elementos presentó un patrón Zn > Cu (Fig. 2). Las mayores concentraciones de Zn en comparación con el Cu están relacionadas con las funciones estructurales y catalíticas esenciales que el Zn desempeña. A diferencia del Cu, el Zn es un componente de 20 metaloenzimas (López de Romaña et al. 2010), útil para producir amplia variedad de

proteínas y como regulador de actividades metabólicas (Moreno-Sierra et al. 2016). Si bien ambos son esenciales, la mayor concentración de Zn obedece a un mayor uso de este elemento en diferentes procesos metabólicos del organismo, ya que más de 100 enzimas necesitan zinc para su función catalítica (López de Romaña et al. 2010).

Concentración de Zn y Cu entre tejidos de *Sphyrna tiburo*

En relación con los tejidos, se encontraron mayores concentraciones de Zn y Cu en el hígado. Diversas investigaciones confirman lo anterior para diferentes especies de tiburones pertenecientes a la misma familia como *Sphyrna zygaena* y *S. lewini* (Windom et al. 1973, Storeli et al. 2003, Mull et al. 2012, Mora-Carrillo 2015, Boldrocchi et al. 2019). El hígado es el principal órgano involucrado en la metabolización de todas las sustancias químicas de la sangre (vitaminas, azúcares, elementos) y es usado para almacenar energía, desintoxicar, flotar y sintetizar metalotioneínas que son ricas en Zn y Cu (Barrera-García 2013, Moreno-Sierra et al. 2016, O' Bryhim et al. 2017).

En el caso del músculo, las concentraciones más bajas para Zn y Cu se deben a que este tejido representa la mayor proporción de la masa corporal en los organismos marinos, lo que puede generar bajos niveles de metalotioneínas (Mora-Carrillo 2015). Por lo anterior, y dado que el hígado es el principal órgano involucrado en la metabolización de las sustancias que llegan por vía sanguínea y en él se sintetizan metalotioneínas que son útiles en la homeostasis o en la regulación de la disponibilidad del Zn y de Cu, este órgano presenta mayores concentraciones en comparación con el músculo.

Concentración de Zn y Cu por sexos en *Sphyrna tiburo*

En el presente estudio se encontraron diferencias significativas en Zn y Cu entre sexos, las hembras muestran mayores concentraciones en comparación con los machos. La mayor concentración en las hembras podría estar relacionada a factores alimenticios y reproductivos (Rodríguez-Contreras 2017, Palacios-Hernández et al. 2020), tal y como ha sido registrado en otras especies del género como *S. lewini* (Boldrocchi et al. 2019). Para *S. tiburo*, Flores (2017) reporta diferencias en la alimentación entre sexos, donde las hembras se alimentan principalmente de *Octopus maya* (82.0 %) y *Callinectes sapidus* (4.2 %) mientras que los machos consumen principalmente *Portunus gibbesii* con (54.1 %), seguido de *Portunus spinimanus* (22.8 %).

Asimismo, Viana (2019) menciona que algunos tiburones en su etapa adulta muestran patrones de utilización del recurso (alimento) y del hábitat mediante la segregación como una estrategia de reducción de la competencia intraespecífica. Al respecto, la concentración de metales pesados se relaciona con el hábitat de alimentación, migración y requerimientos específicos (Barrera-García 2013, Boldrocchi et al. 2019). Por lo tanto, en el presente estudio, al registrar organismos adultos con segregación trófica, las diferencias en las concentraciones podrían estar relacionadas con el uso diferencial de los recursos y del hábitat.

Concentración de Zn y Cu entre años de muestreo en *Sphyrna tiburo*

Las concentraciones de Cu y Zn fueron diferentes entre los años muestreados, siendo significativamente mayores en organismos capturados en el año 2015 en comparación con 2016 y 2019. Diversos autores mencionan que la concentración de metales pesados que capture cada organismo depende de la concentración en el medio (Tahity et al. 2022), las condiciones ambientales (Acosta et al. 2004) y los factores intrínsecos como hábitos de alimentación (Bergés-Tiznado et al. 2021).

Estudios tróficos realizados en las costas de Campeche reportan que la dieta de *S. tiburo* presentó un mayor consumo de *Octopus maya* en 2015, en comparación con otros años donde predominaron los crustáceos, lo cual se atribuye a cambios en la temperatura superficial del mar en la región (Viana 2019). Otro factor que puede haber contribuido al aumento de las concentraciones en el 2015 es la temporada de muestreo, ya que la mayoría de los organismos fueron colectados en temporada de lluvia. La concentración de metales pesados presentes en el Golfo

de México es influenciada por actividad antrópica (Armstrong-Altrin y Machain-Castillo 2016) y en temporada de lluvia los metales pueden estar más biodisponibles debido a diferentes procesos físicos y químicos (Aguilar-Ucán et al. 2009).

Por lo tanto, la diferencia en los niveles de Cu y Zn por año estudiado probablemente está relacionada con cambios en la disponibilidad de recursos tróficos asociada a cambios en las variables ambientales de la región y a que, probablemente, los niveles de estos dos metales no se han incrementado en la zona.

Correlación de Cu y Zn con la longitud total (LT)

Se registró una correlación positiva significativa en el hígado entre el Cu y la LT para 2015 (**Fig. 3**). Esto es contrario a lo reportado para otras especies como *S. lewini* donde se ha observado que la concentración de Cu tiende a disminuir conforme aumenta la talla del organismo (Mora-Carrillo 2015, Boldrocchi et al. 2019). En términos tróficos, *S. lewini* está catalogado como un depredador que a medida que crece va presentando una especialización en el consumo de peces como *Nicholsina usta* y *Haemulon plumieri* (Rodríguez-Contreras 2017), mientras que *S. tiburo* es un depredador oportunista y la composición de su dieta depende de la temporada (Cortés et al. 1996).

Al respecto, diferentes autores mencionan que los organismos especialistas (como *S. lewini*) suelen presentar menor concentración de oligoelementos en comparación con especies oportunistas (*S. tiburo*), lo que puede explicar la diferencia en las correlaciones positivas y negativas de cada especie. Así, la correlación encontrada en el 2015 puede asociarse a que el mayor registro de organismos de *S. tiburo* durante este año fueron hembras, las cuales tienen una dieta conformada en mayor porcentaje por el pulpo *O. maya* (Flores 2017, Viana 2019). Este pulpo produce hemocianina, la que contiene Cu (Kato et al. 2020), lo cual puede explicar la alta concentración de Cu encontrada en tiburones en el año 2015.

S. tiburo como bioindicador de salud del ecosistema y comparación con tiburones de la familia Sphyrnidae

Las concentraciones promedio de Cu y Zn obtenidas en el músculo de *S. tiburo*, fueron similares a las reportadas en otras regiones. Sin embargo, resultaron diferentes para otras especies de este género en diversas regiones del mundo (**Cuadro V**). Lo anterior está probablemente relacionado con el uso de recursos y la disponibilidad del hábitat.

S. tiburo se caracteriza por vivir en aguas costeras sobre fondos arenosos, consumiendo principalmen-

CUADRO V. CONCENTRACIONES DE Cu Y Zn (mg/kg PESO HÚMEDO) EN TEJIDOS DE VARIAS ESPECIES DE TIBURONES *Sphyrna* DE DIFERENTES PARTES DEL MUNDO.

Especie	Cu	Zn	Región	Referencia
Músculo				
<i>S. tiburo</i>	0.75	2.02	Atlántico, Carolina del Sur y Pacífico	Windom et al. (1973)
<i>S. lewini</i>	0.50	3.78		
<i>S. lewini</i>	0.36	3.70	Pacífico Occidental	Powell y Powell (2001)
<i>S. zygaena</i>	0.36	1.75	Mar Jónico	Storelli et al. (2003)
<i>S. lewini</i>	0.38	11.2	SE Golfo de California	Mora-Carrillo (2015)
<i>S. lewini</i>	0.30	4.02	Golfo de Adén	Boldrochchi et al. (2019)
<i>S. tiburo</i>	0.67	19.8	Golfo de México	Presente trabajo
Hígado				
<i>S. tiburo</i>	2.37	8.5	Atlántico, Carolina del Sur y Pacífico	Windom et al. (1973)
<i>S. lewini</i>	4.08	10.5		
<i>S. zygaena</i>	4.00	17.5	Mar Jónico	Storelli et al. (2003)
<i>S. lewini</i>	2.58	12.2	SE Golfo de California	Mora-Carrillo (2015)
<i>S. lewini</i>	9.61	12.3	Golfo de Adén	Boldrochchi et al. (2019)
<i>S. tiburo</i>	3.56	31.0	Golfo de México	Presente trabajo

CUADRO VI. LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDO PARA COBRE Y ZINC EN PECES Y PRODUCTOS DE LA PESCA EN DIFERENTES PAÍSES (NAUEN 1983) Y CONCENTRACIÓN PROMEDIO REGISTRADA EN *Sphyrna tiburo* CAPTURADO EN EL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO (PRESENTE ESTUDIO).

País	Límites establecidos (mg/kg)	
	Cu	Zn
Australia	10	150
India	10	50
Nueva Zelanda	30	40
Chile	10	100
Tailandia	20	-
Reino Unido*	20	50
Zambia	100	100
Presente estudio	0.67	19.83

*Valores recomendados.

te crustáceos (Fischer et al. 1995, Ayala-Pérez et al. 2015), mientras que *S. zygaena* y *S. lewini* son reconocidas como especies pelágicas oceánicas con alto consumo de peces (Fischer et al. 1995, Plumlee y Wells 2016). Lo anterior explicaría la variación de las concentraciones de Cu y Zn presente en los tejidos de *S. tiburo*, que al ser un depredador costero estaría “bioindicando” los cambios que surgen en la costa a nivel temporal.

En el presente estudio, como bioindicador de salud del ecosistema, se utilizó el hígado, ya que es el órgano encargado en concentrar para posterior-

mente eliminar sustancias tóxicas que llegan por vía sanguínea (Moreno-Sierra et al. 2016, O’ Bryhim et al. 2017), por ende, refleja la salud del hábitat en el que se encuentra el tiburón (costas de Campeche). Altos niveles de Cu y Zn en el ecosistema provocan alteraciones como disminución de la productividad y la pérdida de biodiversidad (Cruz-Casanova 2013), y en humanos, el consumo de alimentos con altas concentraciones de Cu y Zn pueden provocar una bioacumulación de estos en el cuerpo y provocar dolor abdominal, calambres, náuseas, diarrea, vómito, entre otros daños (Aguilar-Ucán et al. 2013, Moreno-Sierra et al. 2016).

En términos de salud humana, en México la NOM-242-SSA1-2009 (SSA 2009) referente a los límites máximos permisibles en recursos marinos para consumo humano no establece las concentraciones de Zn y Cu permitidos en carne de tiburón, sin embargo en diversos países sí (Nauen 1983; **Cuadro VI**), los cuales *S. tiburo* del presente trabajo no sobrepasó.

Si bien no existe un límite de la concentración máxima que debiera presentar el hígado, al encontrarse este por debajo de las concentraciones máximas permisibles para Cu y Zn en músculo, se interpreta que el hábitat en el que se desarrolla y consume presas *S. tiburo* se encuentra estable y en términos de salud humana se afirma que no existen riesgos por su consumo.

Dicho lo anterior, el presente estudio basado en un elasmobranquio mesodepredador capturado en las costas de Campeche como *S. tiburo*, sirve de refe-

rente en carne de tiburón para ser contemplado en la NOM-242-SSA1-2009. Sin embargo, es importante dar continuidad al estudio e investigar las concentraciones de elementos no esenciales (Pb, Hg, Cd) ya que aún en pequeñas concentraciones provocan daños a la salud y han sido muy poco estudiados en la región.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de Cu y Zn fueron mayores en el hígado que en el músculo, debido a que el hígado es el principal órgano involucrado en la metabolización de todas las sustancias químicas que llegan por vía sanguínea y es el encargado de desintoxicar para posteriormente eliminar sustancias tóxicas.

El sexo fue un factor que influyó en la concentración de metales en los tejidos entre machos y hembras sólo en el año 2015, probablemente asociado a los cambios en la alimentación.

En función de la longitud total, la concentración promedio de Cu en el hígado y en el músculo no se correlacionó significativamente, excepto en el año 2015, en el que se obtuvieron organismos de mayor longitud.

El Cu en el músculo fue mayor en 2015 que en los años subsecuentes (2015 > 2016 > 2019) y en el hígado en 2016 (2016 > 2015 > 2019). El Zn en el músculo fue mayor en 2016 (2016 > 2015 > 2019), mientras que en el hígado fue mayor en 2015 (2015 > 2016 > 2019).

Las concentraciones promedio encontradas de ambos metales (Cu y Zn), están por debajo de los límites máximos permisibles internacionales, por lo cual el consumo de *S. tiburo* capturado en las costas de Campeche actualmente no representa riesgo para la salud humana.

AGRADECIMIENTOS

TEM agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) y al Programa de Becas para Estudios de Posgrado por la beca otorgada con número de CVU 1144995. YETR agradece al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) y a la Secretaría de Educación Pública (SEP) por el financiamiento del proyecto “Variación temporal y hábitos alimenticios del cazón *Rhizoprionodon terraenovae* en las costas de Campeche, México” DSA/103.5/15/2017. MEBT agradece al Programa de Ciencia Básica CONACYT 2016, en

su modalidad de “Apoyo a Iniciativas de Investigador Joven” con el proyecto “Investigación integral en peces condrictios de profundidad del alto Golfo de California: interrelación entre biología, metales, metaloides y lípidos” con número de registro 288665.

REFERENCIAS

- Acosta V. y Lodeiros C. (2004). Metales pesados en la almeja *Tivela mactroides* Born, 1778 (Bivalvia: Veneridae) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela. Ciencias Marinas 30 (2), 323-333. <https://doi.org/10.7773/cm.v30i2.183>
- Aguilar-Ucán C.A., Montalvo-Romero C., Ramírez-Elias M.A. y González B. C. (2009). Metales pesados en sedimentos del arroyo “La Caleta” de Ciudad del Carmen, Campeche, México: Estudio preliminar. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 5 (3), 232-237.
- Aguilar-Ucán C.A., Montalvo-Romero C., Cerón-Betrón J. G. y Anguebes-Franceschi F. (2013). Niveles de metales pesados en especies marinas: ostión (*Crassostrea virginica*), jaiba (*Callinectes sapidus*) y camarón (*Lithopenaeus setiferus*), de Ciudad del Carmen, Campeche, México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 9 (2), 195-203.
- Armstrong-Altrin J. S. y Machain-Castillo M. L. (2016). Mineralogy, geochemistry, and radiocarbon ages of deep sea sediments from the Gulf of Mexico, Mexico. Journal of South American Earth Sciences 71, 182-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2016.07.010>
- ATSDR (2016). Resúmenes de Salud Pública – Cinc (Zinc). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [en línea]. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph50.html 17/02/2023
- ATSDR (2019). Resúmenes de Salud Pública – Cobre (Copper). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [en línea]. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph132.html 17/02/2023
- Ayala-Pérez L.A., Ramos Miranda J., Flores Hernández D., Sosa López A. y Martínez Romero G.E. (2015). Ictiofauna marina y costera de Campeche. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Instituto EPOMEX, San Francisco de Campeche, México, 502 pp.
- Baños-Baños J. J., Bojórquez-Sánchez C., Bergés-Tiznado M. E., Páez-Osuna F., y Torres-Rojas Y. E. (2023). Concentración de oligoelementos metálicos (cobre y zinc) en músculo e hígado del cazón picudo del Atlántico (*Rhizoprionodon terraenovae*), capturado en el litoral de Campeche, México. Revista Mexicana de Biodiversidad. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.4265>

- Barrera-García A., O’Hara T., Galván-Magaña F., Méndez-Rodríguez L. C., Castellini J. M. y Zenteno-Savín T. (2013). Trace elements and oxidative stress indicators in the liver and kidney of the blue shark (*Prionace glauca*). Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology 165 (4), 483-490. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.01.024>
- Baruch-Garduza E., Castañeda-Chávez M. D. R., Wakida-Kusunoki A. T., Reynier-Valdés D., y Navarrete-Rodríguez G. (2022). Heavy metals in macroinvertebrates (*Penaeus*) in the Mexican coasts of the Gulf of Mexico: status, sources, and regulations. Latin American Journal of Aquatic Research 50 (3), 331-342.
- Bergés-Tiznado M. E. (2016). Arsénico, mercurio y selenio en el pez vela (*Istiophorus platypterus*), dorado (*Coryphaena hippurus*) y tiburón martillo (*Sphyraena lewini*) en el sureste del Golfo de California: distribución, biomagnificación y riesgos a la salud. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Mazatlán, Sinaloa, México, 184 pp.
- Bergés-Tiznado M. E., Vélez D., Devesa V., Márquez-Farías J. F. y Páez-Osuna F. (2021). Arsenic in tissues and prey species of the scalloped hammerhead (*Sphyraena lewini*) from the SE Gulf of California. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 80 (3), 624-633. <https://doi.org/10.1007/s00244-021-00830-6>
- Boldrochchi G., Monticelli D., Omar Y. M. y Bettinetti R. (2019). Trace elements and POPs in two commercial shark species from Djibouti: Implications for human exposure. Science of the Total Environment 669, 637-648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.122>
- CONAPESCA (2004). Plan de acción nacional para el manejo y conservación de tiburones, rayas y especies afines en México. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. Plan de manejo. Mazatlán, México, 80 pp.
- Cortés E., Manire C. A. y Hueter R.E. (1996). Diet, feeding habits, and diel feeding chronology of the Bonnethead shark, *Sphyraena tiburo*, in southwest Florida. Bulletin of Marine Science 58 (2), 353-367.
- Cruz-Casanova E. F. (2013). Efecto de la contaminación por metales pesados en los ecosistemas costeros del sureste de México. Kuxulkab’ 19 (37), 65-68. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a19n37.351>
- Ebert D., Fowler S. y Compagno L. (2013). *Sharks of the world: A fully illustrated guide*. Wild Nature Press, Plymouth, Inglaterra, 528 pp.
- Fischer W., Krupp F., Schneider W., Sommer C., Carpenter K. E y Niem V.H. (1995). Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro - oriental. Volumen II. Vertebrados - Parte 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia, 563 pp.
- Flores-Martínez I. A. (2017). Ecología trófica de los cazones *Rhizoprionodon terraenovae* (Richardson, 1836) y *Sphyraena tiburo* (Linnaeus, 1758) capturados en el litoral de Campeche, México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur, México, 97 pp.
- Frazier B.S., Driggers W.B., Adams D.H., Jones C.M. y Loefer J.K. (2014). Validated age, growth and maturity of the bonnethead *Sphyraena tiburo* in the western North Atlantic Ocean. Journal of Fish Biology 85 (3), 688-712. <https://doi.org/10.1111/jfb.12450>
- Haman K. H., Norton T. M., Thomas A. C., Dove A. D. M. y Tseng F. (2012). Baseline health parameters and species comparisons among free-ranging Atlantic sharpnose (*Rhizoprionodon terraenovae*), bonnethead (*Sphyraena tiburo*), and spiny dogfish (*Squalus acanthias*) sharks in Georgia, Florida, Andhar Washington, USA. Journal of Wildlife Diseases 48 (2), 295-306. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-48.2.295>
- INEGI (2016). Estructura económica de Campeche en síntesis. Instituto Nacional de Estadística y Geografía [en línea]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825087180.pdf 16/02/2023
- Kato S., Matsui T. y Tanaka Y. (2020). Molluscan hemocyanins. En: Subcellular biochemistry (U. Hoeger y J. R. Harris, Eds.). Springer. Gutenberg, Alemania, pp. 195-218. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41769-7_7
- López de Romaña D., Castillo C. y Diaz G. D. (2010). El zinc en la salud humana. 1. Revista Chilena de Nutrición 37 (2), 234-239.
- Márquez-Farías J.F., Castillo Géniz L. J. y Rodríguez de la Cruz M. C. (1998). Demografía del cazón pech, *Sphyraena tiburo* (Linnaeus, 1758), en el sureste del Golfo de México. Ciencias Marinas 24 (1), 13-34. <http://doi.org/10.7773/cm.v24i1.738>
- Mendoza-Díaz F. (2010). Determinación de metales pesados, Cd, Cr, Cu y Pb en *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891) colectados en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Veracruz, México, 95 pp.
- Mora-Carrillo J. P. (2015). Concentración de Cd, Cu, Pb y Zn en juveniles del tiburón martillo *Sphyraena lewini* capturado en el suroeste del Golfo de California: variación con la talla y peso, y del contenido estomacal. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Mazatlán, México, 81 pp.
- Moreno-Sierra D. M., Bergés-Tiznado M. E., Márquez-Farías F., Torres-Rojas Y. E., Ruelas-Inzunza J. R. y Páez-Osuna F. (2016). Trace metals in target tissues and stomach contents of the top predator sailfish *Istiophorus platypterus* from the Eastern Pacific:

- concentrations and contrasting behavior of biomagnification. *Environmental Science and Pollution Research* 23, 23791-23803. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7551-y>
- Mull C. G., Blasius M. E., O'Sullivan J. B. y Lowe C. G. (2012). Heavy metals, trace elements, and organochlorine contaminants in muscle and liver tissue of juvenile white sharks, *Carcharodon carcharias*, from the Southern California Bight. En: *Global Perspectives on the Biology and Life History of the White Shark* (M.L. Domeier, Ed.) CRC Press, Taylor y Francis Group, California, EUA, pp. 59-75. <https://doi.org/10.1201/b11532-10>
- Nauen C. E. (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. Food and Agriculture Organization of the United Nations Fisheries. Circular No. 764 [en línea]. <https://www.fao.org/3/q5114e/q5114e.pdf> 07/03/2023
- Noguera S. y Armado A. (2010). Evaluación de metales en suelos contaminados por derrames de crudo en Yaracal, estado Falcón, Venezuela. *Avances en Química* 5 (3), 167-175.
- Núñez-Nogueira G. (2005). Concentration of essential and non-essential metals in two shark species commonly caught in Mexican (Gulf of Mexico) coastline. En: *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. (A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández, Eds). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, pp. 451-474.
- O'Bryhim J. R., Adams D. H., Spaet J.L.Y., Mills G. y Lance S. L. (2017). Relationships of mercury concentrations across tissue types, muscle regions and fins for two shark species. *Environmental Pollution* 223, 323-333. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.029>
- Palacios-Hernández D., Castillo-Géniz J. L., Méndez-Loeza I. y Pérez-Jiménez J. C. (2020). Temporal and latitudinal comparisons of reproductive parameters in a heavily exploited shark, the bonnethead, *Sphyrna tiburo* (L. 1758), in the southern Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology* 97 (1), 100-112. <https://doi.org/10.1111/jfb.14330>
- Papagiannis I., Kagalou I., Leonardos J., Petridis D. y Kalfakakou V. (2004). Copper and zinc in four freshwater fish species from Lake Pamvotis (Greece). *Environment International* 30 (3), 357-362. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.08.002>
- Pethybridge H., Daley R., Virtue P. y Nichols P. (2010). Lipid composition and partitioning of deepwater chondrichthyans: inferences of feeding ecology and distribution. *Marine Biology* 157 (6), 1367-1384. <https://doi.org/10.1007/s00227-010-1416-6>
- Pethybridge H. R., Parrish C. C., Bruce B. D., Young J. W. y Nichols P. D. (2014). Lipid, fatty acid and energy density profiles of white sharks: insights into the feeding ecology and ecophysiology of a complex top predator. *PLoS One* 9 (5), e97877. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097877>
- Plumlee J. D. y Wells R. D. (2016). Feeding ecology of three coastal shark species in the northwest Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 550, 163-174. <https://doi.org/10.3354/meps11723>
- Powell J. H. y Powell R. E. (2001). Trace elements in fish overlying subaqueous tailings in the tropical West Pacific. *Water, Air, and Soil Pollution* 125, 81-104. <https://doi.org/10.1023/A:1005211832691>
- Rodríguez-Contreras M. M. (2017). Caracterización trófica de *Sphyrna Tiburo* (Linnaeus, 1758) y *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en el litoral de Campeche. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México, 103 pp.
- SSA (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. Método por arena o gasa. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación, México. 26 de mayo de 1994.
- SSA (2009). NOM-242-SSA1-2009. Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación, México. 10 de febrero del 2021.
- Solomon F. (2009). Impacts of copper on aquatic ecosystems and human health. *Environment and Communities*: 25-28. [en línea]. https://akmininginfo.files.wordpress.com/2012/09/solomon_impactscopper-aquaticecosystemshumanhealth.pdf 17/02/2023
- Storelli M. M., Ceci E., Storelli A. y Marcotrigiano G. O. (2003). Polychlorinated biphenyl, heavy metal and methylmercury residues in hammerhead sharks: contaminant status and assessment. *Marine Pollution Bulletin* 46 (8), 1035-1039. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(03\)00119-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00119-X)
- Tahity T., Islam M.R.U., Bhuiyan N.Z., Choudhury T.R., Yu J., Noman M.A., Hosen M.M., Quraishi S.B., Paray B.A., Arai T. y Mohammad B.S. (2022). Heavy metals accumulation in tissues of wild and farmed barramundi from the Northern Bay of Bengal Coast, and its estimated human health risks. *Toxics* 10 (8), 410. <https://doi.org/10.3390/toxics10080410>
- Van Vleet E. S., Candileri S., McNeillie J., Reinhardt S. B., Conkright M. E. y Zwissler A. (1984). Neutral lipid components of eleven species of Caribbean sharks. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry* 79 (4), 549-554. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(84\)90364-x](https://doi.org/10.1016/0305-0491(84)90364-x)

- Velasco-Santamaría Y. M., Gómez-Manrique W. y Calderón-Bernal J. M. (2006). Toxicidad aguda del sulfato de cobre (CuSO_4) en alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) bajo condiciones de aguas blandas. *Orinoquia* 10 (1), 64-70.
- Viana-Morayta E. J. (2019). Nicho trófico de elasmobranquios capturados en el litoral de Campeche, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México, 155pp.
- Windom H., Stickney R., Smith R., White D. y Taylor F. (1973). Arsenic, cadmium, copper, mercury, and zinc in some species of North Atlantic Finfish. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 30 (2), 275-279. <https://doi.org/10.1139/f73-045>
- Yáñez-Arancibia A., y Lara-Domínguez A. L. (1988). Ecology of three sea catfishes (Ariidae) in a tropical coastal ecosystem – Southern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 49 (3), 215-230.
- Zar J. H. (2010). Biostatistical analysis. 5a. ed., Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River, EUA, 944 pp.