



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Boca del Río
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e Investigación

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

"METALES PESADOS EN TEJIDOS Y CÉSTODOS INTESTINALES DEL
TIBURÓN *Carcharhinus limbatus* DE MATA DE UVA, ALVARADO,
VERACRUZ"

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA

KARINA ELIZABETH LARA ESPARZA

DIRECTOR DE TESIS

DR. JESÚS MONTOYA MENDOZA



Km. 12 Carr. Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290
Tel. (229) 690 5010 correo: dir01_bdelrio@tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.bdelrio.tecnm.mx





"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro: **A-0717-130818**

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 12:00 horas del día 8 del mes de mayo de 2020 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

**"METALES PESADOS EN TEJIDOS Y CÉSTODOS INTESTINALES DEL TIBURÓN
Carcharhinus limbatus DE MATA DE UVA, ALVARADO, VERACRUZ"**

Que presenta el (la) alumno(a):

KARINA ELIZABETH LARA ESPARZA

Aspirante al Grado de:

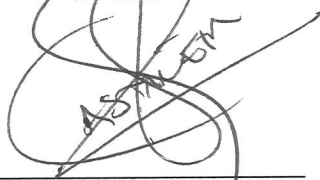
Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron SU APROBACIÓN, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:


Dr. Jesús Montoya Mendoza
Director


Dr. Guillermo Salgado Maldonado
Co-Director


Dra. María del Refugio Castañeda Chávez
Asesor


Dra. Fabiola Lango Reynoso
Asesor





Instituto Tecnológico de Boca del Río
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e Investigación

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Boca del Río, Ver **05/JUNIO/2020**

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

KARINA ELIZABETH LARA ESPARZA
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE

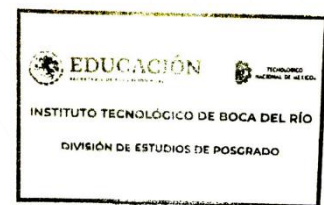
De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

"METALES PESADOS EN TEJIDOS Y CÉSTODOS INTESTINALES DEL TIBURÓN
***Carcharhinus limbatus* DE MATA DE UVA, ALVARADO, VERACRUZ"**

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede **AUTORIZACIÓN** para que proceda a su impresión.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos

M.C. ANA LETICIA PLATAS PINOS
JEFA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB
c.c.p. Expediente



Metales pesados en tejidos y céstodos intestinales del tiburón *Carcharhinus limbatus*

de Mata de Uva, Alvarado, Veracruz

RESUMEN

La creciente actividad antropogénica en la zona costera, ha incrementado las descargas de contaminantes por metales pesados al medio marino, que llegan a afectar la flora y fauna del ecosistema, dentro de ellos se ubican organismos de importancia comercial como es el caso del tiburón puntas negras, *Carcharhinus limbatus*; por lo tanto, se requiere una continua evaluación de la calidad de los ecosistemas y de los organismos que en ellos habitan. Se propone utilizar a los cestodos intestinales y tejidos de *C. limbatus* como bioindicadores de la contaminación por metales pesados y así mismo como indicadores de la calidad ambiental de los ecosistemas marinos.

El objetivo general de este trabajo es establecer las concentraciones y proporciones de metales pesados de Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cobre (Cu) en cestodos intestinales, tejido muscular, hígado y gónada del tiburón *Carcharhinus limbatus* para proponerlos como bioindicadores. La determinación de los metales fue realizada por espectrofotometría de absorción atómica de flama con una Thermo Cientific Modelo Ice™ 3500 AA System. La concentración mayor fue para Plomo con $0.0466 \pm 0.0129 \text{ mg kg}^{-1}$, para Cadmio de $0.0447 \pm 0.0022 \text{ mg kg}^{-1}$ y el menor fue para Cobre con $0.0248 \pm 0.0133 \text{ mg kg}^{-1}$. Sin embargo, las concentraciones detectables demostraron estar por debajo de los límites máximos permisibles de la Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, que registra los productos y servicios de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados sus especificaciones sanitarias y métodos de prueba por lo que no representa riesgo de contaminación el consumo de tejidos de esta especie de tiburón. Para los céstodos no se analizaron las proporciones de concentración de metales pesados debido a que las concentraciones fueron menores a $<0.0028 \text{ mg kg}^{-1}$ (concentraciones indetectables por equipo de absorción atómica Thermo Cientific Modelo Ice™ 3500 AA System).

Palabras clave: Metales pesados, bioindicador, *Carcharhinus limbatus*, céstodos

Heavy metals in tissues and cestodes intestinal in Blacktip Shark, *Carcharhinus limbatus* from Mata de Uva, Alvarado, Veracruz

ABSTRACT

The increasing anthropogenic activity in the coastal zone has increased the discharge of pollutants by heavy metals into the marine environment, which affect the flora and fauna of the ecosystem, among them organisms of commercial importance are located, such as the Blacktip Shark, *Carcharhinus limbatus*; therefore, a continuous evaluation of the quality of ecosystems and the organisms that inhabit them is required. It is proposed to use intestinal and tissue cestodes of *C. limbatus* as bioindicators of heavy metal contamination and also as indicators of the environmental quality of marine ecosystems.

The general objective of this work is to establish the variations and proportions of heavy metals of Lead (Pb), Cadmium (Cd) and Copper (Cu) in intestinal cestodes, muscle tissue, liver and gonad of the shark *Carcharhinus limbatus* to propose them as bioindicators. The determination of the metals was carried out by flame atomic absorption spectrophotometry with a Thermo Cientific Model Ice™ 3500 AA system. The highest concentration was for Lead with $0.0466 \pm 0.0129 \text{ mg kg}^{-1}$, for Cadmium of $0.0447 \pm 0.0022 \text{ mg kg}^{-1}$ and the lowest was for Copper with $0.0248 \pm 0.0133 \text{ mg kg}^{-1}$. However, the detectable limitations will prove to be below the maximum permissible limits of the Official Mexican Standard NOM-242-SSA1-2009, which registers the products and services of fresh, refrigerated, frozen and processed fisheries, their sanitary specifications and therefore, the consumption of tissues of this shark species does not represent a risk of contamination. For the cestodes, the heavy metal concentration ratios were not analyzed because they were less than $<0.0028 \text{ mg kg}^{-1}$ (systems undetectable by Thermo Cientific Model Ice™ 3500 AA System atomic absorption equipment).

Key words: Heavy metals, bioindicator, *Carcharhinus limbatus*, cestodes

DEDICATORIA

A Gerardo Lara, Matilde Esparza, Manuel San Román y mi bebe

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a mis profesores y asesores. A mi director de tesis el Dr. Jesús Montoya Mendoza, gracias por su paciencia y tiempo que me dedico para la realización de este trabajo, a mi asesora la Dra. María del Refugio Castañeda Chávez, por sus observaciones y a la Dra. Fabiola Lango Reynoso igualmente por sus observaciones y correcciones durante la revisión de esta tesis y durante las clases.

A los pescadores del municipio de Antón Lizardo, que me facilitaron los organismos para este de estudio.

Al Dr. Alfonso Vázquez Botello, por recibirme en las instalaciones del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM durante mi estancia.

Al tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Boca del Rio, por recibirme en sus instalaciones y aportar las herramientas necesarias para mi formación profesional.

Al proyecto PRODEP de Nuevos Profesores de Tiempo Completo con oficio de liberación: No. 511-6/18-10343, por el apoyo brindado hacia mi proyecto de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante todo mi posgrado con número 888932.

A mi amiga Elizabeth González, que emprendimos juntas este proyecto gracias por todo el apoyo, Arturo de la Cruz gracias por apoyarme con tus conocimientos y a todo mi grupo de Maestría generación 2018-2020 por hacer más ameno el camino.

A mis padres Gerardo por motivarme siempre y dándome todo lo que necesito para lograr esto y Matilde por caminar a mi lado, ayudarme con todo, alimentándose cuando no tenía tiempo, llevando a donde te lo pidiera sin ti no hubiera conseguido nada, a mi hermana por la ayuda en la edición de fotos.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
INDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE TABLAS	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. ANTECEDENTES	12
2.1 METALES PESADOS.....	12
2.2 PLOMO (Pb)	14
2.3 CADMIO (Cd).....	14
2.4 COBRE (Cu).....	14
2.5 NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA LIMITES PERMISIBLES DE METALES PESADOS	15
2.6 CONTAMINACIÓN EN COSTA DE VERACRUZ POR METALES PESADOS	16
2.7 CONTAMINACIÓN EN ORGANISMOS POR METALES PESADOS.....	18
2.9 PLOMO (Pb)	24
2.10 CADMIO (Cd)	24
2.11 COBRE (Cu).....	25
2.12 BIOINDICADOR	25
2.13 TIBURONES COMO BIONDICADOR.....	27
2.15 <i>Carcharhinus limbatus</i>	29
2.16 CÉSTODOS.....	31
3. JUSTIFICACIÓN.....	33
4. OBJETIVOS.....	34
4.1 OBJETIVO GENERAL	34
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	35
5.1 ÁREA DE ESTUDIO	35
5.2 PERIODICIDAD EN LA TOMA DE MUESTRAS	36
5.3 COLECTA DE MUESTRAS	36

5.4 PREPARACIÓN DE MUESTRAS	36
5.5 BIOMETRIA.....	36
5.6 LIOFILIZACIÓN	39
5.7 MOLIDA.....	42
5.8 PREPARACIÓN PARA DIGESTIÓN	42
5.10 ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	47
5.11 PREPARACIÓN DE CURVAS DE CALIBRACIÓN	48
6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	49
7. RESULTADOS	50
7.1 CONCENTRACIÓN MEDIA PARA PLOMO (Pb), CADMIO (Cd) Y COBRE (Cu) EN CADA TEJIDO DE <i>Carcharhinus Limbatus</i>	51
7.1.1 PLOMO (Pb).....	51
7.1.2 CADMIO (Cd)	52
7.1.3 COBRE (Cu).....	53
7.2 CONCENTRACIÓN GENERAL DE METALES PESADOS EN TEJIDO MUSCULAR, HÍGADO Y GÓNADA DE <i>Carcharhinus limbatus</i>	54
7.3 CONCENTRACIÓN POR METAL.....	55
7.3.1 PLOMO (Pb).....	55
7.3.2 CADMIO (Cd)	57
7.3.3 COBRE (Cu).....	59
7.4 PROPORCIÓN ENTRE LA RELACIÓN DE METALES PESADOS Y TEJIDOS DE <i>Carcharhinus limbatus</i>	62
7.5 COMPARACIÓN DEL PROMEDIO DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN TEJIDOS CON LOS LIMITES PERMISIBLES.	63
7.5.1 PLOMO (Pb).....	63
7.5.2 CADMIO (Cd)	66
8. DISCUSIÓN.....	69
9. CONCLUSIÓN	72
11. BIBLIOGRAFÍA.....	74

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. <i>Carcharhinus limbatus</i> , Randall JE. FISHBASE	30
FIGURA 2. Distribución de <i>Carcharhinus limbatus</i> (Blacktip shark), with modelled year 2050 native range map based on IPCC RCP 8.5 emissions scenario	30
FIGURA 3. Imágenes de algunos helmintos parásitos registrados en <i>Carcharhinus limbatus</i> : a) <i>Eutetrarhynchidae</i> sp. 1, b) <i>Nybelinia</i> sp. 1, c) <i>Disculiceps pileatus</i> , d) <i>Paraorygmatobothrium cf. sinuspersicense</i> . Méndez-Dorantes (2017)	32
FIGURA 4. Ubicación del área de estudio de Playa Mata de Uva. Fuente: Maxar Technologies, INEGI 2020.....	35
FIGURA 5. Talla en cm de la muestra de Tiburón <i>Carcharhinus limbatus</i>	37
FIGURA 6. Peso de la muestra de tiburón <i>Carcharhinus limbatus</i>	37
FIGURA 7. Recuperación de tejidos del tiburón <i>Carcharhinus limbatus</i>	38
FIGURA 8. Tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> : A) Gónada, B) Intestino e C) Hígado.....	38
FIGURA 9. Foto capturada en microscopio óptico IROSCPE® MOD. NZ-14, al 10x de Céstodos colectados de <i>Carcharhinus limbatus</i> en agua salina al 70%.	39
FIGURA 10. Liofilizadora Scientz-18N FREEZE DRYER	40
FIGURA 11. Estatus de temperatura y PA de la liofilizadora Scientz-18N FREEZE DRYER.....	41
FIGURA 12. Desecador con muestras de tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	41
FIGURA 13. Muestra de tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> liofilizada y molida en mortero	42
FIGURA 14. Pesado de muestra de tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> liofilizada y macerada finamente en la balanza RADWAG AS 220/C/2.	43
FIGURA 15. Muestra de tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> con 10ml de ácido nítrico grado reactivo al 65.5% (suprapuro)	44
FIGURA 16. Muestra de tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> reposada con Ac. Nítrico grado reactivo al 65.5% (suprapuro)	44
FIGURA 17. Muestra de tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> con 5ml de peróxido de hidrogeno en parrilla	45
FIGURA 18. Muestra de tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> después de ebullición.....	46
FIGURA 19. Muestras de tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> filtradas	46
FIGURA 20. Solución homogenizada de la muestra de tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	47
FIGURA 21. Thermo Cientific® Modelo Ice 3500 AA System	47
FIGURA 22. Concentración de Plomo en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> colectadas de Mata de Uva, Veracruz.....	51

FIGURA 23. Concentración de Cadmio en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> colectadas de Mata de Uva, Veracruz.....	52
FIGURA 24. Concentración de Cobre en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> colectadas de Mata de Uva, Veracruz.....	53
FIGURA 25. Gráfica de intervalos de concentración media de Pb en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	56
FIGURA 26. Simultáneos de Tukey para determinar las concentraciones medias de Pb en los diferentes tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	57
FIGURA 27. Gráfica de intervalos de las concentraciones de Cd en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	58
FIGURA 28. Simultáneos de Tukey para determinar las concentraciones medias de Cd en los diferentes tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	59
FIGURA 29. Gráfica de intervalos de las concentraciones de Cu en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	60
FIGURA 30. Simultáneos de Tukey para determinar las concentraciones medias de Cu en los diferentes tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	61
FIGURA 31. Comparación de la concentración de Pb en gónada de tiburón <i>Carcharhinus limbatus</i>	64
FIGURA 32. Comparación de la concentración de Pb en músculo de tiburón <i>Carcharhinus limbatus</i>	65
FIGURA 33. Comparación de la concentración de Pb en hígado de tiburón <i>Carcharhinus limbatus</i>	65
FIGURA 34. Comparación de la concentración de Cd en gónada de tiburón <i>Carcharhinus limbatus</i>	67
FIGURA 35. Comparación de la concentración de Cd en músculo de tiburón <i>Carcharhinus limbatus</i>	67
FIGURA 36. Comparación de la concentración de Cd en hígado de tiburón <i>Carcharhinus limbatus</i>	68

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Principales actividades industriales generadoras de metales pesados Caviedes <i>et al.</i> (2015)	13
TABLA 2. Normatividad internacional que involucra metales pesados en productos alimenticios	15
TABLA 3. Normatividad mexicana que involucra metales pesados en productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados.....	16
TABLA 4. Concentración de metales esenciales y no esenciales (mg kg^{-1}) en 4 tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> capturados en el Golfo de México	22
TABLA 5. Tiempo de liofilización de los tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	40
TABLA 6. Parámetros de equipo de espectrofotometría de absorción atómica Thermo Cientific® Modelo Ice 3500 AA Systema	48
TABLA 7. Concentración media de metales pesados Pb, Cd y Cu ($\pm\text{DE}$), e intervalos de valores min y máx en tejido muscular, hígado y gónada de <i>Carcharhinus limbatus</i>	54
TABLA 8. ANOVA para concentración de Plomo en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	55
TABLA 9. Comparación de promedios de Pb en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	55
TABLA 10. ANOVA para concentración de Cadmio en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	57
TABLA 11. Comparación de promedios de Cd en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	58
TABLA 12. ANOVA para la concentración de Cobre en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	59
TABLA 13. Comparación de promedios de Cu en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i>	60
TABLA 14. Proporciones entre Metales pesados y tejido de músculo, gónada e hígado de <i>Carcharhinus limbatus</i>	62
TABLA 15. Concentración de metales pesados en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> (mg kg^{-1}) de Pb con las normas oficiales	63
TABLA 16. Concentración de metales pesados en tejidos de <i>Carcharhinus limbatus</i> (mg kg^{-1}) de Cd con las normas oficiales	66

1. INTRODUCCIÓN

Los contaminantes presentes en los océanos, ingresan a ellos a través de diferentes rutas como las deposiciones atmosféricas (aire), aguas subterráneas y los ríos. Una vez que los contaminantes entran en contacto con el océano, mediante procesos físicos, químicos y biológicos, se distribuyen en la columna de agua y en los sedimentos, en donde los animales marinos como los peces entran en contacto con ellos por medio de la respiración branquial y el consumo de alimento (Galvan *et al.*, 2014).

El Golfo de México constituye una de las áreas que se encuentra en alto riesgo por la contaminación, debido a la gran actividad industrial que se lleva a cabo en su litoral (Beltrán *et al.*, 2005). Generalmente se producen como producto de contaminación de efluentes industriales metales como pueden ser el Cromo, Níquel, Cadmio, Plomo y Mercurio (Castañeda *et al.*, 2014). Los metales pesados son ampliamente utilizados en las diversas ramas de la industria en la región costera del Golfo de México, incluidas las del refinado del petróleo, la producción de fertilizantes y las actividades mineras que también constituyen otra de las fuentes principales de suministro de metales en la zona del Golfo de México, debido a que en ella se localizan más de cincuenta centros mineros (Páez-Osuna, 2005).

En México existen 22 ríos que vierten sus aguas al Golfo de México; de estos, el principal es el río Bravo (Vázquez-Botello *et al.*, 2004). Estos ríos aportan grandes cantidades de nutrientes al Golfo de México, así como contaminantes desde tierra adentro debido a la gran actividad agropecuaria e industrial en la zona (Vázquez-Botello *et al.*, 2004). Tan sólo en la porción de Estados Unidos, se encuentran los grandes complejos portuarios industriales y comerciales de Brownsville, Corpus Christi, Houston y Galveston; mientras que, en México, son los de Tampico-Madero, Altamira, Tuxpan, Veracruz, Alvarado, Coatzacoalcos, Dos Bocas y Ciudad del Carmen. En ambos casos son fuentes potenciales de contaminantes de metales pesados a los sistemas marinos y costeros (Vázquez-Botello *et al.*, 2004). La diversidad de contaminantes por metales pesados que se pueden encontrar en el agua es muy amplia, muchos de ellos se liberan a causa de los procesos naturales, pero la actividad antropogénica aumenta los niveles de estos, e incluye algunos contaminantes que no podríamos encontrar de manera natural.

La actividad antropogénica en la zona costera ha incrementado las descargas de contaminantes al medio marino; en Veracruz llegan las descargas de tres ríos, en su parte norte La Antigua, en el centro el Jamapa y en la parte sur el río Papaloapan, que traen consigo importantes volúmenes de agua, sedimentos y por consiguiente contaminantes entre ellos, los

metales pesados. Dentro de estos ecosistemas se ubican organismos de importancia comercial como es el caso del tiburón *Carcharhinus limbatus* es una especie pelágico-costera, que habita sobre y fuera de la plataforma continental, común en aguas tropicales, es una de las especies más apreciadas por la pesquería ribereña artesanal del tiburón en el Golfo de México. Los tiburones como *C. limbatus* por ser depredadores ápice o tope en las cadenas alimenticias son considerados bioindicadores de la salud en el ecosistema en el que habitan, ya que los organismos que ocupan los eslabones más altos en la cadena trófica sirven como bioindicadores del medio marino, pues frecuentemente contienen las concentraciones más altas de metales pesados (biomagnificación) (Espinoza, 2016).

Estos organismos permiten detectar el nivel de contaminación por metales en sus tejidos o parásitos y así poder advertir sobre los niveles tóxicos para el consumo humano. *C. limbatus* sirve como hospedero de otros organismos tales como los helmintos parásitos, estos han adquirido una importancia debido a su potencial como bioindicadores de contaminación; entre este grupo se encuentran los cestodos, que, por su capacidad de acumulación, permiten aportar, acerca del estado químico de un organismo o de su medio por cambios en su fisiología o comportamiento.

En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, que registra los productos y servicios de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados sus especificaciones sanitarias y métodos de prueba (NOM-242-SSA1-2009; DOF, 2011) establece que los peces que contengan concentraciones mayores o iguales a $0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ peso húmedo de Plomo y Cadmio no deben ser consumidos. Sin embargo, actualmente se tiene muy poca información sobre la bioacumulación y biomagnificación de tiburones costeros de importancia comercial y sus parásitos, como es el caso del tiburón puntas negras *Carcharhinus limbatus*, el cual es una de las especies de cazón frecuentemente capturada en las zonas costeras de Veracruz por lo tanto, el recolectar muestras de diferentes tejidos (músculo, hígado y riñones) y utilizarlos para análisis en busca de contaminantes como los metales pesados permite conocer si en el área donde estos depredadores residen está expuesta a cierto tipo de contaminantes por eso la propuesta de este trabajo es indicar la relación entre hospedero-parásito y que se pueda señalar como un modelo que permita identificar la acumulación de contaminantes por metales pesados.

2. ANTECEDENTES

2.1 METALES PESADOS

Metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Tienen aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios.

Los metales pesados son tóxicos ambientales muy peligrosos. Sus características más comunes son: persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, todo lo cual hace que se encuentren en los ecosistemas por largos periodos, ya que su degradación natural es difícil (Rodríguez, 2017).

Los metales pesados son elementos químicos con alta densidad, masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos de estos elementos son: Aluminio (Al), Bario (Ba), Berilio (Be), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Estaño (Sn), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Arsénico (As), Cromo (Cr), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plata (Ag), Selenio (Se), Talio (Tl), Vanadio (Va), Oro (Au) y Zinc (Zn) (Londoño *et al.*, 2016).

Se encuentran de manera natural en el ambiente en concentraciones que, por lo general, no perjudican las diferentes formas de vida. Los metales no pueden ser degradados o destruidos, pueden ser disueltos por agentes físicos y químicos y ser lixiviados. Algunos forman complejos solubles y son transportados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica (suelo, agua, plantas, semillas y forrajes), primordialmente aquellos procedentes de áreas contaminadas (García *et al.*, 2012).

Los metales entran al océano costero a través de diversas rutas, a través del aporte fluvial, deposiciones atmosféricas, aguas subterráneas, ríos y numerosas actividades antropogénicas. Para determinar las fuentes que suministran o movilizan a los metales en el ambiente marino y costero se tienen criterios muy simples para su clasificación que pueden ser por medios naturales que son muy dispersas y no provocan concentraciones altas y por medio de contaminación antropogénica que son mucho más peligrosos que los emitidos por las fuentes naturales.

La implementación de metales en los procesos industriales ha permitido que grandes concentraciones de metales pesados potencialmente tóxicos sean emitidas a la atmósfera y vertidos en los ambientes acuáticos y terrestres Caviedes *et al.* (2015) (Tabla 1).

TABLA 1. Principales actividades industriales generadoras de metales pesados Caviedes *et al.* (2015).

INDUSTRIA	METALES	CONTAMINACIÓN DERIVADA
Minería de metales ferrosos	Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Zn	Drenaje ácido de mina, relaves, escombreras
Extracción de minerales	As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn	Presencias en las minas como en los subproductos
Fundición	As, Cd, Pb, Ti	Procesado de mineral para obtención de metales
Metalúrgica	Cr, Cu, Mn, Pb, Sb, Zn	Procesado térmico de metales
Aleaciones y aceros	Pb, Mo, Ni, Cu, Cd, As, Te, U, Zn	Fabricación, eliminación y reciclaje de metales
Gestión de residuos	Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, Mn	Residuos o en lixiviados
Corrosión metálica	Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn	Inestabilidad de los metales expuestos al medio ambiente
galvanoplastia	Cr, Ni, Zn, Cu	Efluentes líquidos de procesos de recubrimiento
Pinturas y pigmentos	Pb, Cr, As, Ti, Ba, Zn	Residuos acuosos procedentes de la fabricación y deterioro de la pintura vieja
Baterías	Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg	Fluidos de la pila, contaminación en suelo y aguas
Electrónica	Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn	Residuos metálicos acuosa y sólida desde el proceso de fabricación y reciclaje
Agricultura y ganadería	Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn, As, Mn, Cu	Contaminación de escorrentía, aguas superficiales y subterráneas, bioacumulación en plantas

2.2 PLOMO (Pb)

Número atómico 82, peso atómico 207, color azulado, Forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos (Hardman *et al.*, 2011). Este metal no es esencial para los seres vivos, sin embargo, existe en todos los tejidos y órganos de los mamíferos. Se presenta en dos estados de oxidación $+2$ y $+4$, siendo el primero el que predomina en el ambiente acuático. En el agua de mar se encuentra como $PbCl_2$ (43%), $PbCO_3$ (42%) y $Pb(OH)_2$ (9%) Whitfield *et al.* (1981), asimismo algunos compuestos sulfurosos se forman con este metal en condiciones anaeróbicas en los sedimentos marinos.

Se usa como aditivo antidetonante en la gasolina, baterías, en monitores de computadores y pantallas de televisión, joyería, latas de conserva, tintes para el pelo, grifería, pigmentos, aceites, cosmetología, aleaciones, cerámicas, municiones, soldaduras, plomadas, armamento, radiación atómica, insecticidas, etc. (Lanphear *et al.*, 2012).

2.3 CADMIO (Cd)

El cadmio forma parte de la composición natural de algunas rocas y suelos y provoca una liberación al medio ambiente cercana a 25000 toneladas. De otra parte, por vía antrópica las concentraciones en el ambiente pueden ser incrementadas considerablemente. Ya que es un metal ampliamente utilizado en la industria y productos agrícolas, esto ha producido un progresivo aumento en su producción (Reyes *et al.*, 2016).

El cadmio es un elemento no esencial cuyas propiedades químicas son intermedias entre el zinc y el mercurio. En ambientes dulceacuícolas, está íntimamente asociado con la materia coloidal como $CdCl_2$ y $CdSO_4$. En el mar el 66% está presente como ion junto con $CdCO_3$ (26%), $Cd(OH)_2$ (5%), $CdCl_2$ (1%) y $CdSO_4$ (1%) (Whitfield *et al.*, 1981).

2.4 COBRE (Cu)

Número atómico 29, es un metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, eléctricas, físicas y mecánicas, además de su abundancia. La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. De cientos de compuestos fabricados de manera industrial, el más importante es el sulfato de cobre (Londoño, 2016).

El cobre se usa en equipo eléctrico, maquinaria industrial, construcción, en aleaciones de bronce: latón, níquel, clavos, pernos, objetos decorativos, tuberías, techos, monedas,

utensilios de cocina, joyería, muebles, maquillaje, pinturas, instrumentos musicales y medios de transporte. Además, el sulfato de cobre es uno de los primeros compuestos utilizados en alimentación animal como pesticidas, las sales de cobre poseen efectos fungicidas y alguicidas (Repetto, 2012).

2.5 NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA LIMITES PERMISIBLES DE METALES PESADOS

Para la detección y límites máximos permisibles de metales pesados en el extranjero se encuentran instituciones importantes como la OMS (WHO) y CODEX STAN que contienen los principios recomendados por el Codex Alimentarius en relación con los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos; que, por recomendación de la Comisión del Codex, deben aplicarse a los productos que circulan en el comercio internacional (TABLA 2).

TABLA 2. Normatividad internacional que involucra metales pesados en productos alimenticios

NORMA	UNIDADES EMPLEADAS	CADMIO	PLOMO	COBRE
CODEX STAN 193-1995	mg kg ⁻¹	2.0	0.3	Sin registro
OMS (WHO)	mg kg ⁻¹	2.0	0.1-0.2	Sin registro

Concentraciones para cefalópodos, contemplado como referencia

En México existe una serie de diferentes normativas aplicables en materia de metales pesados en las cuales se establece las concentraciones máximas permisibles para diferentes servicios desde agua, solidos, productos alimenticios entre otros, a continuación, se muestra la Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, que registra los productos y servicios de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados sus especificaciones sanitarias y métodos de prueba (TABLA 3).

TABLA 3. Normatividad mexicana que involucra metales pesados en productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados

NORMA	UNIDADES EMPLÉADAS	CADMIO	PLOMO	COBRE
NOM-242-SSA1- 2009	mg kg ⁻¹	0.5	0.5	Sin registro

2.6 CONTAMINACIÓN EN COSTA DE VERACRUZ POR METALES PESADOS

Los metales pesados son ampliamente utilizados en las diversas ramas de la industria en la región costera del Golfo de México, incluidas las del refinado del petróleo, la producción de fertilizantes y las actividades mineras que también constituyen otra de las fuentes principales de suministro de metales en la zona del Golfo de México, debido a que en ella se localizan más de cincuenta centros mineros (Páez-Osuna, 2005).

Dentro del Golfo de México, la Zona costera de Veracruz es un área costera dinámica con asentamientos humanos y actividades productivas cuyos residuos y contaminantes están afectando los sistemas costeros.

Las costas veracruzanas son privilegiadas por tener complejos de alta relevancia ecológica; debido a la turbiedad de sus aguas y la escasez de lechos rocosos, las formaciones coralinas aparecen dispersas en pequeñas áreas. El puerto de Veracruz es un área de intenso tráfico marino, de actividades energéticas, petroleras, pesqueras, con trabajos de dragado y perforación del piso oceánico, alto crecimiento poblacional y desarrollo turístico (Morlán-Cahue y Opengo-Piña, 2005).

En México existen 22 ríos que vierten sus aguas al Golfo de México; de estos, el principal es el río Bravo (Vázquez-Botello *et al.*, 2004), para el Estado de Veracruz llegan las descargas de múltiples ríos y en la parte central, tres ríos son muy importantes; en su parte norte la Antigua, en el centro el Jamapa y en la parte sur el río Papaloapan, que traen consigo importantes volúmenes de agua, sedimentos y probablemente de contaminantes entre ellos, los metales pesados. En la línea de costa desde el Puerto de Veracruz hasta el poblado de Antón Lizardo, ha sufrido impactos severos por la actividad humana, industrial y por el acarreo de sedimentos

de los ríos Jamapa, Papaloapan y La Antigua, ocasionando en conjunto un incremento en metales pesados (Blas *et al.*, 2015).

Estas costas están compuestas por 25 arrecifes de coral geológicamente bien estructurados, que se han desarrollado en un ambiente de alta sedimentación terrígena, provocado por la presencia de numerosos efluentes, como son los ríos Jamapa, Papaloapan y La Antigua (Horta-Puga *et al.*, 2015).

Una de las fuentes potenciales de contaminación de metales pesado en la zona conurbada de Veracruz-Boca del Río-Medellín, son las 34 plantas de tratamiento de aguas residuales que existen (CONAGUA, 2015).

El Sistema arrecifal Veracruzano ha registrado niveles altos de Pb como menciona (Horta-Puga y Carriquiry, 2014) y Cd (Rosales-Hoz *et al.*, 2007), cuyas fuentes principales son la quema de combustibles fósiles, especialmente el uso de gasolina con Pb (tetraetilo de plomo, usado como aditivo), y el uso generalizado de materiales manufacturados con estos metales, los que vía atmosférica, por escorrentía pluvial y fluvial, y/o por la descarga directa de aguas residuales llegan hasta el área costera como menciona (Horta-Puga y Ramírez-Palacios, 1996; Rosales-Hoz *et al.*, 2007).

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) ha denunciado que a lo largo de 14 kilómetros de playa de la conurbación Veracruz-Boca del Río-Alvarado, hay 24 vertederos de aguas negras a mar abierto, provenientes principalmente de drenajes sanitarios de zonas habitacionales. Cabe mencionar que Veracruz es la ciudad costera más grande México, con el tráfico portuario más grande del país.

El último registro que tiene APIVER es durante el periodo 2016 donde se registró un movimiento total de carga de 24,499,237 ton, de petróleo y derivados, más que el periodo de 2015 y se atendieron 1988 embarcaciones. En cuanto a la carga comercial (sin el petróleo y derivados) alcanzo un total de 22,678,519 ton, más que el registrado en 2015. Por otra parte, (Rosales-Hoz *et al.*, 2009) señalaron que en el Sistema Arrecifal Veracruzano ha registrado niveles altos de Cd debido principalmente por la quema de combustibles fósiles.

Por otro lado, los metales pesados se incorporan a los ecosistemas acuáticos a partir de fuentes naturales y antropogénicas. Estos se consideran como uno de los contaminantes ambientales más importantes debido a su toxicidad y persistencia, además de ser elementos poco biodegradables que se acumulan en los tejidos de los organismos acuáticos y también son responsables de contribuir y generar procesos de biomagnificación (Lango-Reynoso *et al.*, 2017). Por su parte, (Lango-Reynoso, 2014) menciona que los metales pesados en sedimentos marinos del PNSAV sobrepasa el límite establecido para sedimentos no contaminados por metales pesados con Cd, Cu y Zn.

2.7 CONTAMINACIÓN EN ORGANISMOS POR METALES PESADOS

De todos los contaminantes, los metales pesados han recibido una atención especial debido a que no son biodegradables, son tóxicos en bajas concentraciones y tienden a acumularse en las zonas costeras y estuarinas (Lacerda *et al.*, 1988). Además de ello, son acumulados en los organismos acuáticos donde se genera un proceso de bioacumulación y bioamagnificación (Pernía *et al.*, 2008).

Algunas especies tales como ostras, mariscos y moluscos acumulan el cadmio proveniente del agua en forma de péptidos ligadores hasta alcanzar valores de concentración entre 100 y 1000 $\mu\text{g kg}^{-1}$. En la carne, el pescado y frutas se han reportado valores de concentración entre 1 y 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Bayona, 2009).

(Kim *et al.*, 2019) examinaron la concentración de metales pesados en el tejido muscular de 6 especies de tiburones, incluidas 3 especies migratorias (*Carcharhinus brachyurus*, *Carcharhinus obscurus* e *Isurus oxyrinchus*) y 3 especies locales (*Triakis scyllium*, *Mustelus manazo* y *Cephaloscyllium umbratile*) de los mercados de pescado en la Isla Jeju, República de Corea. Se analizaron las concentraciones de 11 metales pesados Cr, Fe, Cu, Zn, As, Se, Cd, Sn, Sb, Pb, Hg y Me-Hg. El resultado mostró que las concentraciones promedio de todos los metales, excepto la de As, estaban por debajo de los límites máximos reglamentarios de muchas organizaciones, incluida la norma del Codex. Hg y Me-Hg se correlacionaron significativamente con la longitud corporal, el peso corporal y la edad, y se esperaba que la concentración de Hg superara el límite en *C. brachyurus* con una longitud o peso corporal de más de 130 cm o 25 kg, respectivamente.

Por otro lado, (Nicolaus, 2016) determinó las concentraciones de 11 oligoelementos en tres tejidos de tiburón marrajo *Lamna nasus* (n = 33). Las concentraciones máximas observadas de Cd y Pb en el músculo fueron 0.04 y 0.01 mg kg⁻¹, respectivamente, y todas las muestras musculares estaban por debajo de los límites europeos de mariscos para estos metales. Se observaron concentraciones de Hg en el músculo rojo o blanco que excedieron las regulaciones europeas para mariscos en un tercio de las muestras. Sin embargo, la concentración de Hg aumentó con la longitud, y todos los peces > 195 cm tuvieron concentraciones > 1.0 mg kg⁻¹, con un valor máximo observado de 2.0 mg kg⁻¹. Las concentraciones de Fe y Cu fueron, en promedio, 9.7 y 10 veces mayor en el músculo rojo que en el músculo blanco cercano, respectivamente. Mn, Zn, As y Se también se encontraron en concentraciones significativamente más altas en el músculo rojo que en el músculo blanco.

En tanto, (Morales *et al.*, 2015) analizaron las concentraciones de Hg, As, Cd, Cu, Fe, Se y Zn en fibras musculares, hepáticas y de aletas (ceratotrichia) de *Carcharhinus obscurus* oscuro, *Carcharhinus plumbeus* de barra de arena y tiburones blancos de *Carcharodon carcharias* de aguas del sudeste de Australia. Las concentraciones de analitos fueron generalmente más altas en el hígado que en el músculo y más bajas en las fibras de las aletas. Las concentraciones de Hg en el tejido muscular se correlacionaron significativamente con la longitud total, y más del 50% de los individuos muestreados tenían concentraciones superiores al límite máximo de Food Standards Australia New Zealand (1 mg kg⁻¹). Las concentraciones de arsénico también fueron motivo de preocupación, especialmente en las aletas.

Por su parte, (Mohammed, 2017) recolectó muestras de *Sphyrna lewini* y *Carcharhinus porosus* de dos sitios comerciales de desembarque de peces en Trinidad. Las concentraciones de metales pesados se determinaron en el músculo, la aleta dorsal, las vértebras y el hígado mediante espectrometría de absorción atómica. La ingesta semanal tolerable provisional y el cociente de riesgo objetivo se determinaron para evaluar los riesgos potenciales para la salud de los consumidores. Los niveles de mercurio oscilaron entre 74-1899 mg kg⁻¹ en *S. lewini* y 67-3268 mg kg⁻¹ en *C. porosus*. Los niveles de arsénico oscilaron entre 144-2309 mg kg⁻¹ en *S. lewini* y 762-6155 mg kg⁻¹ en *C. porosus*. Los niveles de cadmio generalmente oscilaron entre 0.27-27.29 mg kg⁻¹ en *S. lewini* y 0.6-29.89 mg kg⁻¹ en *C. porosus*. Los niveles de plomo generalmente oscilaron entre 0.14 y 208.81 mg kg⁻¹ en *S. lewini*, mientras que los niveles de *C. porosus* oscilaron entre 0.30 y 459.94 mg kg⁻¹. Los valores sugieren que el consumo de estas especies de tiburones puede ser, por lo tanto, una fuente importante de exposición al plomo,

cadmio, arsénico y mercurio en los humanos y es probable que tenga un riesgo potencial para la salud a largo plazo.

En tanto, Chacon *et al.* (2016) determinaron la presencia de mercurio en muestras de tejido de dos especies de tiburón *Sphyrna lewini* y *Carcharhinus falciformis*, en dos puntos de la costa pacífica de Guatemala, utilizando como base la normativa europea. El análisis de los resultados indicó que 16 (73%) organismos de *S. lewini*, presentaron concentraciones de mercurio superiores al límite máximo permisible de acuerdo a la normativa europea (1 mg kg^{-1} de peso fresco), para *C. falciformis* el 4 (9%) de los organismos de la especie, presentaron concentraciones de mercurio arriba del límite máximo permisible.

En tanto, en México, (Espinoza, 2016) determinó la bioacumulación y transferencia de Cd, Hg y Pb en el músculo, hígado y riñón del tiburón *Mustelus henlei* y sus presas, capturados en Punta Lobos y Cabo San Lázaro, ubicados en la costa suroccidental de Baja California Sur. Los resultados presentados en peso húmedo indican que el Cd se bioacumula en menor cantidad ($0.24 \pm 0.17 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$) en el músculo, a diferencia del hígado ($2.14 \pm 2.4 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$) y el riñón ($2.14 \pm 1.54 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$). Mientras que el Hg se acumuló en menor cantidad en el riñón ($0.09 \pm 0.6 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$), seguido del hígado ($0.11 \pm 0.09 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$) y músculo ($0.34 \pm 0.11 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$). El Pb se concentró en mayor cantidad en el músculo ($0.43 \pm 0.93 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$) y riñón ($0.50 \pm 0.33 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$) y en menor concentración en el hígado ($0.16 \pm 0.10 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$).

Existen varios estudios de contaminación de metales pesados en la costa veracruzana como el de Morlán-Cahue y Opengo-Piña (2005) donde obtuvieron las concentraciones de Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Plomo (Pb) en *Caulerpa cupressoides*, *C. sertularioides*, *C. racemosa*, *Halimeda discoidea* y *H. opuntia* en los arrecifes, “Blanquilla”, “Gallega”, “Galleguilla”, “Hornos”, “Pájaros”, “Anegada”, “Sacrificios” y “Verde”, en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). Así como el de Montoya-Mendoza *et al.* (2019) midieron las concentraciones de cadmio (Cd), plomo (Pb), vanadio (V) y zinc (Zn) en el músculo de 30 especímenes de *Pterois volitans*, capturados en abril de 2018, en el Parque Nacional del Sistema Arrecifal de Veracruz (PNSAV), Veracruz, México Las concentraciones, en las muestras, se cuantificaron con espectrofotometría de absorción atómica (AAS), después de la digestión con microondas. Los resultados de la concentración media, en orden descendente fueron $V = 7.3 \pm 0.7 \text{ mg kg}^{-1}$; $Pb = 0.66 \pm 0.07 \text{ mg kg}^{-1}$; $Zn = 0.43 \pm 0.14 \text{ mg kg}^{-1}$; y $Cd = 0.03 \pm 0.01 \text{ mg kg}^{-1}$. Estos valores no excedieron los límites establecidos en el Estándar Nacional Mexicano (NOM-

242-SSA1-2009), de Cd y Pb (0.5 mg kg^{-1}). Esto significa que el consumo de pez león de este sitio no representa un riesgo potencial para la salud humana.

De igual forma, Núñez-Nogueira (2005) evaluó la concentración de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Se y Zn en branquias, hígado, cerebro y musculo del tiburón *Carcharhinus limbatus* y *Rhizoprionodon terraenovae* colectados en las playas chachalacas y puerto de Veracruz. Observaron que, dependiendo del tejido, el metal se acumula en menos o mayor grado esto a sus características metabólicas y fisicoquímicas de cada elemento. Determinaron la relación entre el sexo, longitud total, peso total y edad de los tiburones; la especie que mostro correlaciones con la longitud y edad fue *C. limbatus* mientras que *R. terraenovae* únicamente fue con Hg. Los niveles detectados de carne de estas especies no rebasaron los límites máximos permisibles. Así como en el estudio de Mendoza-Díaz *et al.* (2013) quienes analizaron la concentración de Hg, Pb, Cd, Cr y As en 19 muestras de hígado de *Carcharhinus limbatus* capturado en la laguna de Tamiahua y demuestran que los límites máximos permisibles por las leyes mexicanas no fueron rebasados.

Por su parte, Ross-López (2000) determinó los niveles de contaminación por metales pesados en agua y tejido extraído del musculo de Lisa *Mugil* sp. (Pisces: Vertebrata) de la Cuenca Baja del Rio Jamapa, Ver. Analizó la concentración de metales pesados de Al, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn, en la columna de agua y tejido muscular extraído de la Lisa *Mugil* sp. La concentración media anual para cadmio en las muestras de tejido muscular fue de 2.8 mg de cadmio el cual sobrepasa los límites máximos permisibles que establece la norma mexicana que tiene un valor de 0.005 mg kg^{-1} . Ninguna concentración de Cobre encontrada en este pez sobrepaso el límite máx. Permisible 150 mg kg^{-1} en peso seco según el departamento de salud de Australia.

En tanto, Espinoza (2016) analizó la bioacumulación y biomagnificación de Cd, Hg y Pb, en *Mustelus henlei* (Gill, 1863) de la costa suroccidental de Baja California Sur. Determinaron la concentración de Cd, Hg y Pb en el músculo, hígado y riñón del tiburón *Mustelus henlei* y sus presas, los resultados presentados en peso húmedo indican que el Cd se bioacumula en menor cantidad ($0.24 \pm 0.17 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$) en el músculo, a diferencia del hígado ($2.14 \pm 2.4 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$) y el riñón ($2.14 \pm 1.54 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$). Mientras que el Hg se acumuló en menor cantidad en el riñón ($0.09 \pm 0.6 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$), seguido del hígado ($0.11 \pm 0.09 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$) y músculo ($0.34 \pm 0.11 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$). El Pb se concentró en mayor cantidad en el músculo ($0.43 \pm 0.93 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$) y riñón ($0.50 \pm 0.33 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$) y en menor concentración en el hígado ($0.16 \pm 0.10 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$).

Al igual que en el trabajo realizado por Núñez-Nogueira (2005), quien evaluó las concentraciones de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Se y Zn en branquias, hígado, cerebro y músculo de 42 organismos de *Carcharhinus limbatus* y *Rhizoprionodon terraenovae* capturados en playa Chachalacas y el Puerto de Veracruz y los resultados se pueden observar en la Tabla 4.

TABLA 4. Concentración de metales esenciales y no esenciales (mg kg^{-1}) en 4 tejidos de *Carcharhinus limbatus* capturados en el Golfo de México

TEJIDO	TIBURÓN	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Hg
Músculo	<i>C. limbatus</i>	3.16	0.35	0.44	1.06	269.74	1.89	2.51	3.33
Hígado	<i>C. limbatus</i>	1.38	0.06	0.38	2.65	250.38	2.61	2.89	7.78
Branquias	<i>C. limbatus</i>	3.78	0.84	1.01	3.20	313.17	6.68	6.68	7.03
Cerebro	<i>C. limbatus</i>	3.92	1.33	0.56	6.95	369.58	4.70	4.32	1.33

En organismos de menor talla como pueden ser los helmintos parásitos también existen trabajos de investigación relacionados con las concentraciones de contaminación por metales pesados.

En México hasta el año 2011, se habían estudiado en el país al menos 1,145 de las aproximadamente 5,500 especies de vertebrados (21%). De éstos, se habían registrado 1,900 especies de helmintos, representantes de los diferentes grupos, con una mayoría notable de digéneos (634 especies) y nemátodos (538 especies) (Pérez-Ponce de León, 2014).

Vidal *et al.* (2009) recopilaron estudios relevantes publicados en la última década; y se demostró que la relación entre parásitos y presencia de contaminantes tienen interacción. Falcon (2005) en su revisión del uso de céstodos como indicadores de contaminación por metales pesados en mamíferos de medios terrestres, Considero los cestodos con base en su alto potencial de acumulación de contaminantes en su cuerpo, concluyeron que estos organismos tienen una gran capacidad de bioacumulación de Pb y Zn.

Lorca (2010) postuló que el tremátodo *Limnoderetrema tolosai* concentra una mayor cantidad de metales que el tejido muscular, intestinal y hepático de su hospedero, *Basilichthys australis*,

y concluye que existe una relación entre la masa corporal de los tremátodos y los niveles de metales que son capaces de bioconcentrar, Cr, Ni, Zn y Pb.

En Irán, Fakhar (2005) mostró que los acantocéfalos y céstodos son los principales helmintos que se podrían utilizar como bioindicadores en la evaluación de la concentración de metales pesado, esto se debe a que estas dos familias no tienen en si un sistema digestivo y todos los nutrientes lo absorben por su tegumento.

2.8 EFECTO DE METALES PESADOS EN ORGANISMOS ACUÁTICOS

La toxicidad de los metales está influenciada por factores de tipo fisicoquímico (salinidad, pH, Eh, dureza) y biológico (edad, talla, hábitos alimenticios, madurez). Los efectos de estos elementos en los organismos se asocian con perturbaciones de los sistemas enzimáticos en los compartimentos intracelulares (Páez-Osuna, 2005).

En México existen normas cuyo objetivo es la conservación del medio ambiente. Sin embargo, varios estudios han demostrado la presencia de metales en aire, agua, sedimentos y biota y de su transferencia, así como de su posible biomagnificación a través de la cadena alimenticia, que pudiera tener consecuencias derivadas de la exposición crónica de los organismos que habitan en zonas impactadas por esos contaminantes (Botello *et al.*, 2005).

A diferencia de otras sustancias como los plaguicidas y los radioisótopos artificiales, los metales se hallan presentes formando parte de los seres vivos y de la corteza terrestre (Páez-Osuna, 2005). Los efectos de los metales en los organismos en general se caracterizan por las perturbaciones que sufren una amplia variedad de sistemas enzimáticos en los compartimentos intracelulares. Estas manifestaciones toxicas han sido observadas en todos los animales estudiados, incluyendo a los organismos acuáticos y al hombre mismo (Páez-Osuna, 2005).

2.9 PLOMO (Pb)

El Pb genera alteraciones en el estatus iónico celular y estrés oxidativo, lo que trae como consecuencia disrupciones endócrinas, inhibición de la actividad enzimática, muerte celular, genotoxicidad y problemas inflamatorios (Lassiter *et al.*, 2015). También se ha atribuido al Pb la inhibición de la síntesis de hemoglobina, generando anemia (Counter *et al.*, 2012), incremento de la presión sanguínea, daño renal (Batuman *et al.*, 1981; Poma, 2008), perturbaciones en el sistema nervioso central y cáncer de estómago y pulmones (Mushak, 2011). Además, los niños son muy sensibles al Pb, el cual genera retraso en el desarrollo mental e intelectual (Poma, 2008). En los animales el Pb genera retardos en la maduración, afecta la cantidad y calidad de la esperma y produce cambios conductuales en mamíferos, invertebrados y en las aves puede ser mortal a bajas concentraciones (Lassiter *et al.*, 2015). En diversos estudios de metales pesados en tiburones, el Pb no se ha estimado debido a la presencia de niveles muy bajos del metal en los tejidos analizados, lo que dificulta conocer el efecto que este tiene sobre el organismo (Mendoza-Díaz *et al.*, 2013).

2.10 CADMIO (Cd)

El cadmio es absorbido por el cuerpo humano lentamente, con un tiempo de vida medio estimado de 10-30 años (Páez-Osuna, 2005). La exposición a Cd se ha asociado a diversas enfermedades renales (Suwazono *et al.*, 2006), hipertensión (Gallagher y Meliker, 2010), anemia, osteoporosis (Järup y Alfvén, 2004), anosmia, rinitis crónica, eosinofilia y algunos tipos de cáncer, tales como: leucemia (Henson y Chedrese, 2004), cáncer de mama (McElroy *et al.*, 2006), páncreas, pulmones (Henson y Chedrese, 2004).

El cadmio tiene la capacidad de acumularse en estos órganos vitales lo que produce daños irreversibles aún para concentraciones reducidas, el tiempo de permanencia en estos órganos puede ser muy elevado. Así, el tiempo de vida media del cadmio en el riñón puede alcanzar los 30 años (Reyes *et al.*, 2016). En los peces la interacción del Cd con el metabolismo provoca hipocalcemia condición derivada de la inhibición en la captación de calcio a partir del agua, lo que se refleja en malformaciones de la espina dorsal y modificaciones estructurales en las branquias de los peces (Castañe *et al.*, 2003).

2.11 COBRE (Cu)

La absorción del cobre es necesaria porque este es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos, pero un exceso de cobre también hace daño. En el ambiente de trabajo el contacto con cobre puede provocar la gripe conocida como la fiebre del metal (Rodríguez, 2017).

La exposición aguda por ingestión del sulfato de cobre puede producir necrosis hepática y muerte. La exposición crónica de alimentos conservados en recipientes de cobre genera lesiones hepáticas en niños, puede generar diversas alteraciones como: anemia hipocrómica, disminuye la tasa de crecimiento, diarreas, cambios de coloración del pelo o de lana, ataxia neonatal, alteración del crecimiento, infertilidad temporal e insuficiencia cardíaca (Londoño, 2016).

2.12 BIOINDICADOR

Las especies de bioindicadores se definen como aquellas que por sus características (sensibilidad a las perturbaciones ambientales, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras) pueden ser usadas como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente (Gonzalez-Zuñiga, 2014). Un organismo indicador puede absorber diferentes moléculas que permiten determinar la calidad del ambiente o parte de este por su capacidad de acumulación, aportando información acerca del estado químico de su medio por cambios en su fisiología o comportamiento (Sures, 2004).

El análisis de contaminantes por metales pesados en organismos es importante para investigar la toma, bioacumulación y transferencia de estas sustancias a través de la cadena trófica ya que son sustancias, con gran estabilidad química frente a los procesos de biodegradación. Por ello los seres vivos son incapaces de metabolizarlos, generándose una contaminación por bioacumulación y un efecto multiplicador en la concentración del contaminante en la cadena trófica, definida como biomagnificación (Castañe *et al.*, 2003; Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006).

Para considerar una especie como organismo bioindicador debe tener las siguientes características (Li *et al.*, 2010; Holt-Miller, 2011).

- Suficientemente sensible para advertir alteraciones del ambiente, pero no tanto como para indicarnos variaciones triviales
- La intensidad del cambio en el taxón bioindicador está correlacionado con la intensidad del disturbio ambiental.
- Metodológicamente plausibles.
- Su abundancia permite tomar muestras periódicamente sin comprometer la estabilidad de la población.
- Su baja movilidad facilita conocer el origen del disturbio.
- Son lo suficientemente resistentes como para poder manipularlos, transportarlos al laboratorio y hacer experimentos y análisis con ellos.
- Presentan una amplia distribución que permite hacer comparaciones entre distintas poblaciones.
- Fáciles de identificar por personas sin experiencia en el taxón.

Por su parte, Overstreet (1997) señaló que cuando un hospedero apropiado es seleccionado, el análisis de su fauna parasitológica podría ofrecer un indicador o monitor muy útil, económico y confiable de la salud ambiental, este mismo autor describió una serie de criterios que deben cumplirse para poder utilizar a una especie de hospedero y sus helmintos como bioindicadores.

1.- Los peces deben tener un área de distribución restringida, pues si éstos tienen desplazamientos muy amplios será imposible determinar el hábitat particular en el que se pretende hacer un análisis de la salud ambiental, al no saberse en realidad en dónde fueron adquiridos (o perdidos) los parásitos.

2.- El pez debe ser capaz de actuar como hospedero para un número relativamente alto de especies de helmintos.

3.- Los peces deben ser comunes y fácilmente obtenibles y, preferentemente, ser de tamaño pequeño para hacer que la colecta de parásitos requiera un menor tiempo, lo que representa un ahorro de reactivos químicos durante la colecta.

2.13 TIBURONES COMO BIONDICADOR

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 hayan su longevidad, una tasa de lenta de crecimiento y por ser un depredador tope (Galvan *et al.*, 2014).

Una de las características de los tiburones es que, al encontrarse en la parte superior de la pirámide trófica, son susceptibles de bioacumular y biomagnificar diversos tipos de contaminantes como los contaminantes orgánicos persistentes y elementos traza (Galvan *et al.*, 2014).

Se han realizado diversos estudios con respecto a la concentración de metales tóxicos en el estado de litoral veracruzano y el Golfo de México. Mendoza-Díaz *et al.* (2013) analizaron la concentración de Hg, Pb, Cd, Cr y As en 19 muestras de hígado de *Carcharhinus limbatus* capturado en la laguna de Tamiahua. Los autores señalan que las muestras analizadas no rebasaron los límites máximos permisibles por las leyes mexicanas. Al igual que en el trabajo realizado por Núñez-Nogueira (2005), quien evaluó las concentraciones de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Se y Zn en branquias, hígado, cerebro y músculo de 42 organismos de *Carcharhinus limbatus* y *Rhizoprionodon terraenovae* capturados en playa Chachalacas y el Puerto de Veracruz.

Algunas especies de tiburones de hábitos oceánicos acumulan altas concentraciones de metales pesados. Por ejemplo, en la costa occidental de Baja California Sur, se han reportado niveles de mercurio en músculo de algunas especies de tiburones (tiburón azul *Prionace glauca*, tiburón piloto *Carcharhinus falciformis*) que sobrepasan los estándares internacionales (FDA) para consumo humano ($1.0 \mu\text{g g}^{-1}$ peso húmedo) (Escobar-Sánchez *et al.*, 2011).

Los tiburones son de una amplia diversidad biológica y algunos de ellos son usados como indicadores en programas de monitoreo biológico (Lanza *et al.*, 2011) menciona algunas características de los tiburones que los hacen bioindicadores de los ambientes acuáticos.

- Sus ciclos de vida son largos y completos para algunas especies.
- Se encuentran en el último eslabón de la cadena trófica.
- Son relativamente fáciles de identificar en el campo por la forma, el tamaño y la coloración, lo que facilita al que no es especialista para el reconocimiento de las especies.
- Están presentes en la mayoría de los cuerpos de agua, continentales o costeros.
- Son afectados principalmente por factores macroambientales, fáciles de ubicar y como son relativamente de vida larga, pueden incorporar varios periodos de evaluación de las condiciones ambientales.

2.14 HELMINTOS PARÁSITOS COMO BIOINDICADOR

Los parásitos tienen la capacidad de acumular metales pesados en sus tejidos en órdenes de magnitud superiores a las de sus hospederos o del ambiente donde viven y por ello han sido considerados como centinelas de la salud de un ecosistema (Sures, 2003).

En México también hay registros de los efectos de contaminantes en las comunidades de helmintos; Vidal *et al.* (2009) recopilaron estudios relevantes publicados en la última década; y se demostró que la relación entre parásitos y presencia de contaminantes tienen interacción. En tanto, para el Estado de Veracruz existe información sobre contaminación por Hg en tejidos de *M. curema* de la laguna de Tampamachoco, Veracruz (Jiménez *et al.*, 2014). Existe evidencia de que los helmintos parásitos pueden actuar como indicadores de bioacumulación debido a su capacidad para acumular metales pesados. Como proponen Sures *et al.* (1999), donde señalan el fenómeno de acumulación conspicua de metales por parásitos y cómo esto podría aplicarse al monitoreo ambiental. Posteriormente, Sures *et al.* (2013) compararon la capacidad de acumulación de metal entre el acantocéfalo *Pomphorhynchus laevis* y los nemátodos larvales del género *Eustrongylides* sp., en barbo *Barbus barbus* y un año después Sures (2014) analizó metales pesados en helmintos parásitos intestinales e hizo énfasis en que los acantocéfalos quienes se alimentan por absorción de nutrientes pueden llegar a ser más sensibles y tener más concentración de contaminantes que sus hospederos. Llegando hasta proporciones de 1 a 100 debido a su mayor sensibilidad de los parásitos a los metales pesados que por sus hospederos (Nachev y Sures, 2016).

En Irán, Fakhar (2005) mostró que los acantocéfalos y céstodos son los principales helmintos que se podrían utilizar como bioindicadores en la evaluación de la concentración de metales pesado, esto se debe a que estas dos familias no tienen en si un sistema digestivo y todos los nutrientes lo absorben por su tegumento.

Méndez-Dorante (2017) en su trabajo Helmintos parásitos intestinales de tiburones en la costa central del estado de Veracruz, México, examinaron los intestinos (válvula espiral) de las especies de tiburones *Carcharhinus leucas*, *C. limbatus*, *Rhizoprionodon terraenovae* y *Sphyrna lewini* capturadas por la pesca artesanal, con el objetivo de identificar las especies de helmintos parásitos. Se revisaron 215 intestinos: *C. leucas* (n = 20), *C. limbatus* (n = 39), *R. terraenovae* (n = 110) y *S. lewini* (n = 46). De éstos, se recolectaron 15,576 helmintos parásitos individuales, 15,172 pertenecen a la Clase Cestoda y 404 al Phylum Nematoda. Las especies pertenecientes a la clase Cestoda las más abundantes fueron *Eutetrarhynchidae* sp. 1, *E. sp 2*, *Nybelinia* sp 1, *Otobothrium insigne*, *Phoreiobothrium* sp1, sp2, sp3, *Anthobothrium laciniatum*, *Thysanocephalum thysanocephalum*, *Rhinebothrium* sp, *Paraorygmatobothrium* sp, *Disculiceps pileatus*.

2.15 *Carcharhinus limbatus*

Es un tiburón de talla mediana, presenta un hocico moderadamente agudo y largo, nostrilos oblicuos; distancia internarinal 1.3 a 1.7 % de la longitud preoral; dientes con una sola cúspide, serrados, triangulares tanto en mandíbula superior como inferior; ojos circulares y moderadamente grandes. La primera aleta dorsal es grande, con terminación en punta y coincide ligeramente con las pectorales, la segunda aleta dorsal es igual o ligeramente menor en la base que la aleta anal, el tamaño de la aleta caudal es menos de un tercio de la longitud total, con un lóbulo superior casi el doble de tamaño que el inferior.

Las aletas presentan coloración gris oscuro o azul negruzco en las puntas, excepto la aleta anal en los tiburones del Golfo de México y mar Caribe. Su coloración es gris con una variación de tonalidades, presentando una línea blanca en la parte media del cuerpo (Garces, 2012) (FIGURA 1).

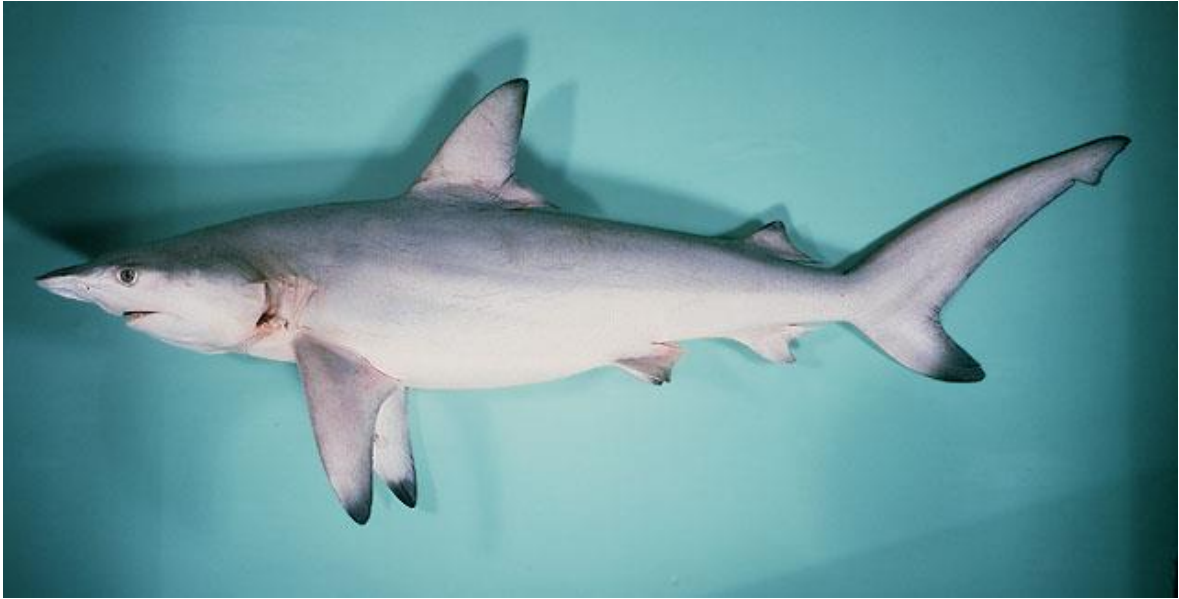


FIGURA 1. *Carcharhinus limbatus*, Randall JE. FISHBASE

Su distribución, Cosmopolita. Atlántico occidental: Nueva Escocia, Canadá a Brasil (Claro, 1994) Atlántico oriental: de Senegal a la República Democrática del Congo, Madeira, las Islas Canarias y el Mediterráneo. Indo-Pacífico: Golfo Pérsico (Carpenter *et al.*, 1997), Mar Rojo, Madagascar y Sudáfrica a China, Australia, Tahití, Marquesas y Hawai. Pacífico Oriental: Baja California, México hasta Perú, incluidas las Islas Galápagos, En el Golfo de México se distribuye desde Florida hasta Yucatán (FIGURA 2).

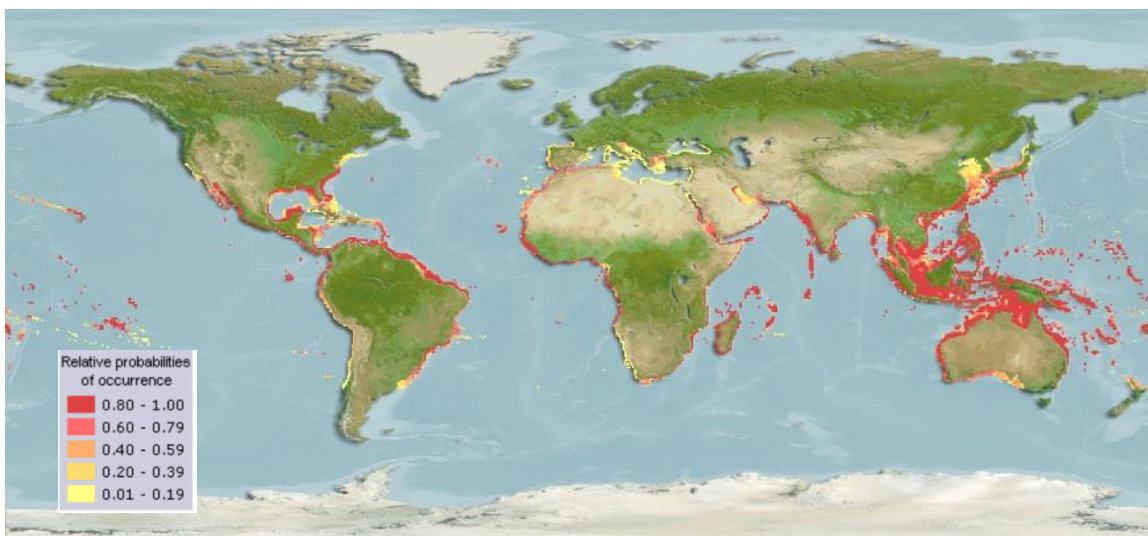


FIGURA 2. Distribución de *Carcharhinus limbatus* (Blacktip shark), with modelled year 2050 native range map based on IPCC RCP 8.5 emissions scenario

Carcharhinus limbatus es una especie pelágico-costera, que habita sobre y fuera de la plataforma continental, común en aguas tropicales y templado-cálidas (Compagno, 1984), con temperaturas mayores de 21 °C. Realiza migraciones anuales siguiendo las corrientes de las masas de agua (Dingerkus, 1987).

En la pesquería artesanal del Golfo de México (GM) son capturadas alrededor de 40 especies de tiburones. Los tiburones de importancia comercial, se agrupan principalmente en el orden Carcharhiniformes, repartidos en tres familias. Las especies más importantes son: *Rhizoprionodon terraenovae*, *Carcharhinus acronotus*, *Squalus cubensis*, *Sphyrna* tiburón y *Carcharhinus limbatus* (CONAPESCA-INP, 2004). En el litoral de Veracruz, las principales especies son *R. terraenovae*, *C. limbatus*, *S. cubensis*, *C. falciformis*, *C. acronotus*, *C. leucas* y *C. Signatus*.

Tiburón puntas negras, *Carcharhinus limbatus* (valenciennes, 1839), es una de las especies más apreciadas por la pesquería ribereña artesanal del tiburón en el Golfo de México, donde ha ocupado el tercer lugar de importancia (Tovar-Avila *et al.*, 2009).

2.16 CÉSTODOS

Los Céstodos constituyen una de las tres grandes clases del tronco Platelminetos Turbelarios, Tremátodos y Céstodos (FIGURA 3) Además de las características del tronco al que pertenecen, poseen otras propias: son helmintos alargados y acintados, simétricos bilateralmente, aplastados dorsoventralmente, carecen de sistema circulatorio, de aparato respiratorio y de tracto digestivo. Todos los céstodos son parásitos y en estado adulto viven en el intestino de vertebrados, utilizando uno o más hospedadores intermediarios que son, según los casos, vertebrados o invertebrados (García-Más *et al.*, 2009).



FIGURA 3. Imágenes de algunos helmintos parásitos registrados en *Carcharhinus limbatus*: a) *Eutetrarhynchidae* sp. 1, b) *Nybelinia* sp. 1, c) *Disculiceps pileatus*, d) *Paraorygmatobothrium* cf. *sinuspersicense*. Méndez-Dorantes (2017)

El cuerpo está organizado en tres regiones: escólex, cuello y estróbilo

El Escólex es una especialización de la región anterior del cuerpo, donde se encuentran las estructuras de fijación a los tejidos del hospedador, que pueden ser ventosas o acetábulos, botrios, botridios, ganchos, áreas glandulares y tentáculos.

Inmediatamente posterior al escólex se encuentra el cuello, que es una región que presenta células indiferenciadas encargadas de dar origen a una serie de unidades denominadas proglótides, que en su interior llevan juegos completos de aparatos reproductores.

Al conjunto de proglótides se lo denomina estróbilo, que muestra una segmentación exterior, pero presentan continuidad en la pared del cuerpo, sistema excretor y nervioso (Drago, 2017).

3. JUSTIFICACIÓN

La creciente actividad antropogénica en la zona costera de Veracruz, ha incrementado las descargas de contaminantes por metales pesados al medio marino; una vez que estos contaminantes entran en contacto con el mar, mediante procesos físicos, químicos y biológicos, se distribuyen en la columna de agua y en los sedimentos, en donde los organismos marinos como los tiburones entran en contacto con ellos por medio de la respiración branquial y el consumo de alimento, los efectos de los metales pesados en los organismos se caracterizan por las perturbaciones que sufren dentro de sus sistemas enzimáticos. Dentro de este ecosistema se ubican organismos de importancia comercial como el tiburón *Carcharhinus limbatus* que es una de las especies más apreciadas por la pesquería ribereña artesanal del tiburón en el Golfo de México, donde ha ocupado el tercer lugar de importancia. Estos organismos presentan características que los hacen candidatos a ser considerados como bioindicadores de disturbios ambientales ocasionados por contaminantes como metales pesados, entre los que se hayan su longevidad, una lenta tasa de crecimiento, ser depredadores topos, son susceptibles de bioacumular y biomagnificar diversos tipos de contaminantes, al igual que sus helmintos parásitos que también tienen la capacidad de acumular metales pesados en sus tejidos y por ello han sido considerados como centinelas de la salud de un ecosistema. Se requiere una continua evaluación de la calidad de los ecosistemas y de los organismos que en ellos habitan y por lo tanto se propone utilizar los cestodos intestinales y tejidos de *C. limbatus* como bioindicadores de la contaminación por metales pesados y así mismo como indicadores de la calidad ambiental de los ecosistemas marinos.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la concentración y proporción de metales pesados Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cobre (Cu) en tejido muscular, hígado y gónada de *Carcharhinus limbatus* y en sus céstodos intestinales para proponerlos como bioindicadores.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de metales pesados en tejido muscular, hígado, gónada y en los céstodos intestinales de *Carcharhinus limbatus* y comparar con las normas mexicanas e internacionales.
- Analizar las proporciones entre las concentraciones de los metales pesados entre los diferentes tejidos y en el binomio hospedero-parásitos.
- Proponer a los céstodos como organismos bioindicadores de contaminación marina por metales pesados.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

Mata de uva, se localiza en el Municipio Alvarado del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave Q 187530.68m E 2107027.39m (FIGURA 4). Colinda al norte con Antón Lizardo; al este con el Golfo de México; al sur con las barrancas y al oeste con Zapote. Su clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (79%). Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (19%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (2%). (INEGI, 2020).



FIGURA 4. Ubicación del área de estudio de Playa Mata de Uva. Fuente: Maxar Technologies, INEGI 2020

5.2 PERIODICIDAD EN LA TOMA DE MUESTRAS

La colecta de muestra se llevó a cabo de diciembre a marzo del 2019 donde se colectó 1 tiburón por mes de la especie *Carcharhinus limbatus*.

5.3 COLECTA DE MUESTRAS

La colecta de muestras se conformó solo por el tiburón *Carcharhinus limbatus* los ejemplares fueron colectados por pescadores de la zona con el método de pesca con palangre que es un método artesanal con el que los pescadores logran hacerse con piezas a diferentes profundidades y que consiste en utilizar lo que se denomina como línea madre, un ramal que se deja en las aguas y del que salen varias ramas con anzuelos y cebos en los que los peces pican y son capturados.

5.4 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Los peces fueron trasladados en hieleras al Laboratorio de Investigación Acuícola Aplicada (LIAA) del Instituto Tecnológico de Boca del Río, donde se realizó la identificación del hospedero siguiendo las claves de Humann y DeLoach (2014).

5.5 BIOMETRIA

Posteriormente se realizó una biometría en peso y talla, las longitudes de los organismos oscilaban entre los 120 y 140 cm y con un peso entre los 5 y 6 kg (FIGURA 5, 6).



FIGURA 5. Talla en cm de la muestra de Tiburón *Carcharhinus limbatus*

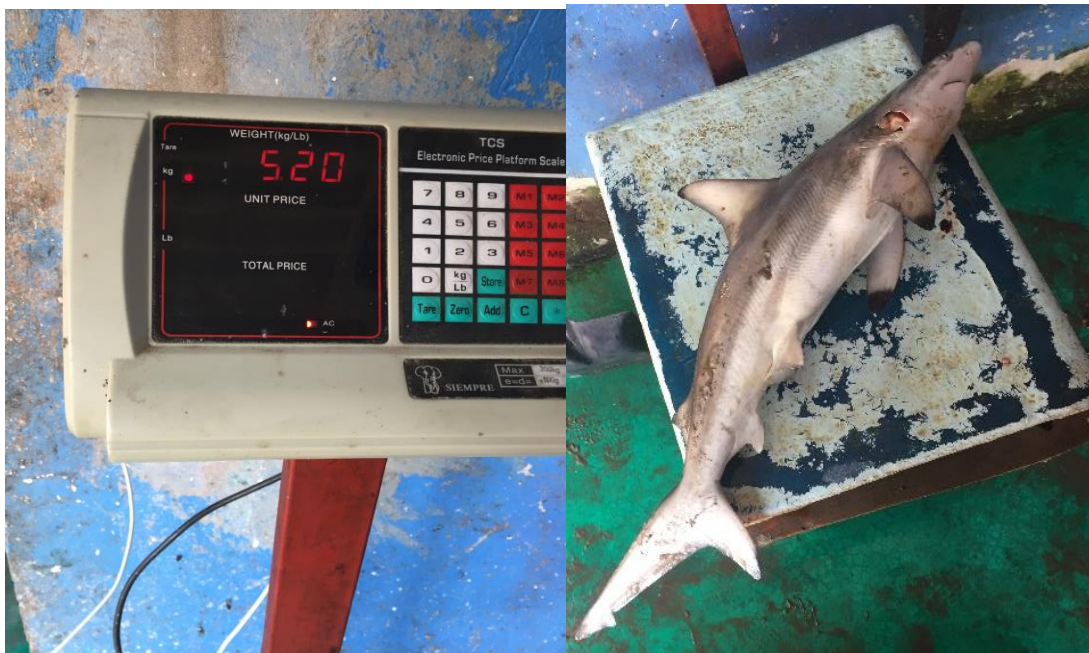


FIGURA 6. Peso de la muestra de tiburón *Carcharhinus limbatus*

Se realizó un corte con tijeras y cuchillo de acero quirúrgico de musculo, gónada e hígado del pez y cada tejido era colocado en cajas Petri con agua salina al 70% (FIGURA 7, 8).



FIGURA 7. Recuperación de tejidos del tiburón *Carcharhinus limbatus*



FIGURA 8. Tejidos de *Carcharhinus limbatus*: A) Gónada, B) Intestino e C) Hígado

Para la obtención de los helmintos se realizó un corte longitudinal en la parte ventral del estómago e intestinos para ser recolectados. Estos se colocaban en cajas Petri con agua salina al 70% esto, siguiendo las técnicas de Lamothe (1997) y Vidal-Martínez *et al.*, (2001) para después ser examinados en un microscopio óptico (FIGURA 9).

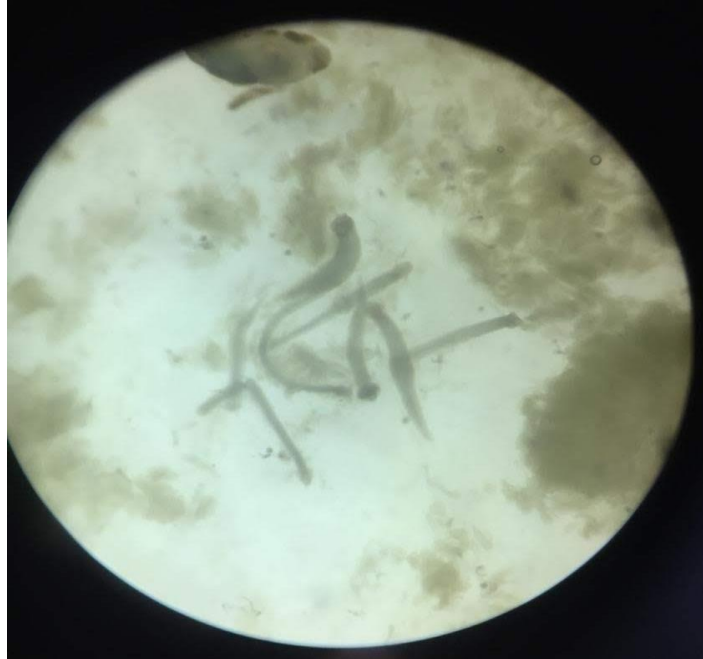


FIGURA 9. Foto capturada en microscopio óptico IROSCPÉ® MOD. NZ-14, al 10x de Céstodos colectados de *Carcharhinus limbatus* en agua salina al 70%.

Las muestras de tejido de músculo, gónada e hígado y céstodos de los hospederos fueron enviadas en bolsa de plástico tipo “ziploc” con los datos de registro y en hielo al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) también del ITBOCA.

5.6 LIOFILIZACIÓN

Para el secado de las muestras de los tejidos y los helmintos, se realizó un proceso de liofilización que consistió en deshidratar la muestra sometiéndola a una rápida congelación eliminando el hielo posteriormente mediante un ligero calentamiento al vacío que lo transforma en vapor.

El proceso de deshidratación se realizó en un equipo Scientz-18N FREEZE DRYER durante diferentes horas para los distintos tejidos y céstodos (TABLA 5) a una temperatura -46°C a y con 6.7 Pa (FIGURA 10, 11).

TABLA 5. Tiempo de liofilización de los tejidos de *Carcharhinus limbatus*

Muestra	Músculo	Hígado	Gónada	Céstodos
1	48 hrs	60 hrs	48 hrs	24 hrs
2	48hrs	60 hrs	48 hrs	24 hrs
3	48hrs	60 hrs	48 hrs	24 hrs
4	48hrs	60 hrs	48 hrs	24 hrs



FIGURA 10. Liofilizadora Scientz-18N FREEZE DRYER



FIGURA 11. Estatus de temperatura y PA de la liofilizadora Scientz-18N FREEZE DRYER

Concluido el proceso de secado las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas tipo ziploc, dentro de un desecador con sílica gel para evitar la absorción de humedad (FIGURA 12).

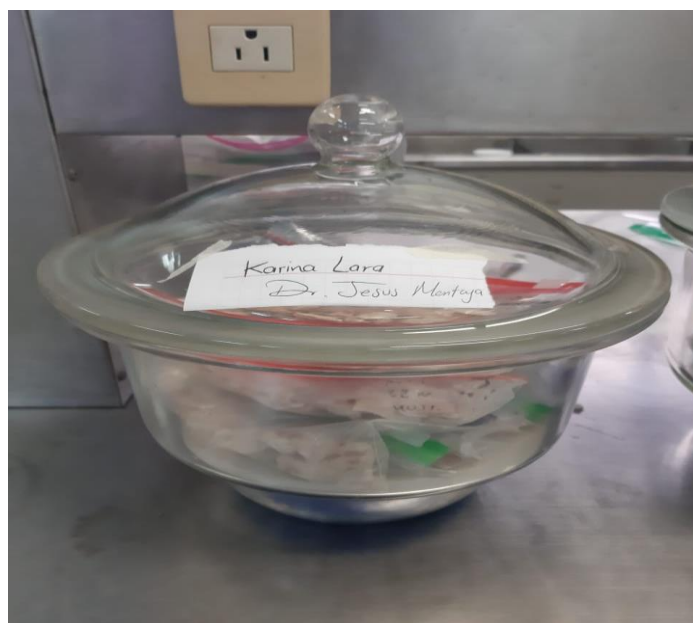


FIGURA 12. Desecador con muestras de tejidos de *Carcharhinus limbatus* liofilizadas con sílica gel.

5.7 MOLIDA

El molido fue realizado en un mortero hasta obtener un tamaño de partícula fino. Posteriormente la muestra fue almacenada de nuevo en el desecador hasta continuar con la digestión de muestras (FIGURA 13).

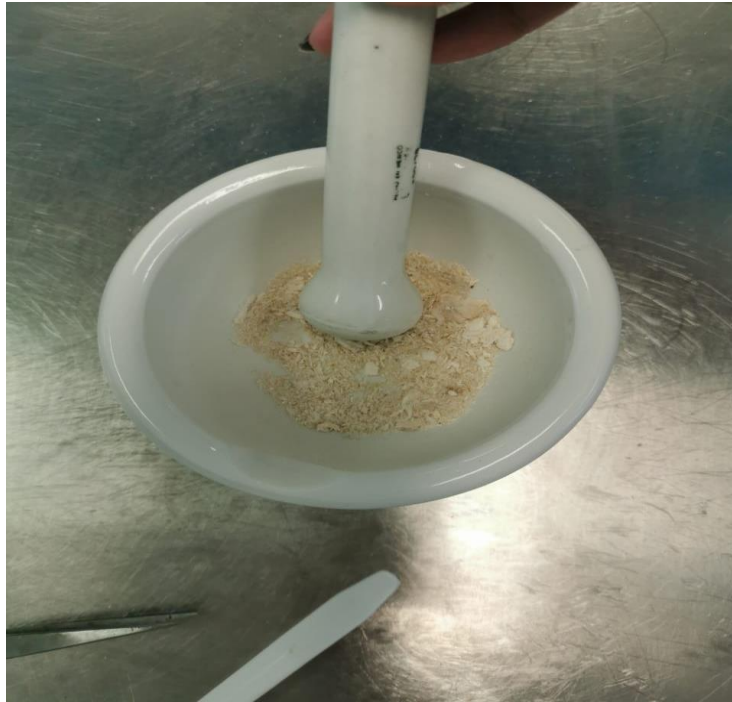


FIGURA 13. Muestra de tejidos de *Carcharhinus limbatus* liofilizada y molida en mortero

5.8 PREPARACIÓN PARA DIGESTIÓN

Después del molido se llevó a cabo la preparación de material para el proceso de digestión todo esto bajo las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994 las cuales indican el método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica y para determinar el enfoque sobre riesgos potenciales en el consumo de dicha especie, se compararon las concentraciones en los tejidos analizados con los límites permisibles según la NOM-242-SSA-2009.

5.9 DIGESTIÓN DE MUESTRAS

La digestión de muestras se realizó por el método de parrilla eléctrica en los tejidos de musculo, gónada e hígado, inicio con el pesado en vasos de precipitado de 50 ml utilizando una balanza RADWAG AS 220/C/2 de un gramo de muestra previamente liofilizada y macerada (FIGURA 14).

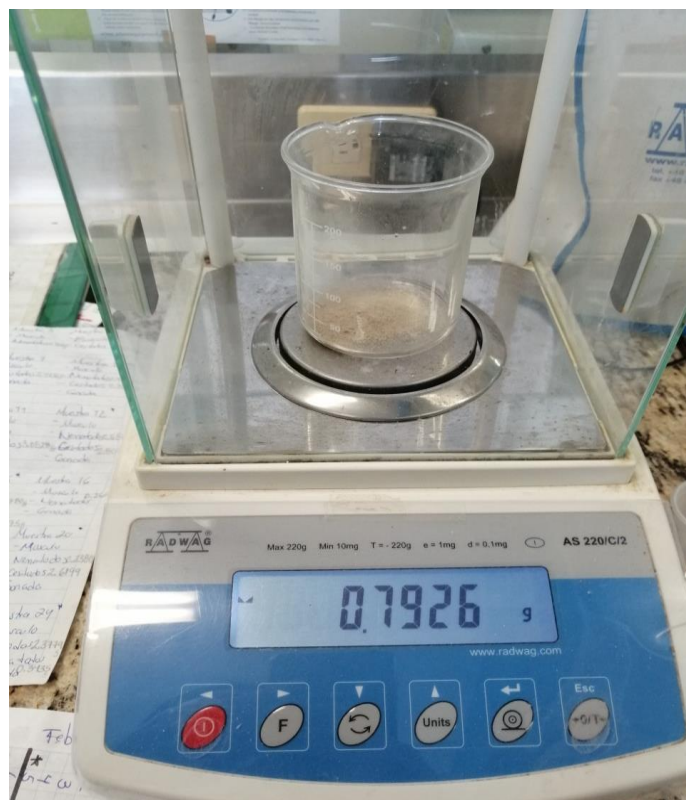


FIGURA 14. Pesado de muestra de tejidos de *Carcharhinus limbatus* liofilizada y macerada finamente en la balanza RADWAG AS 220/C/2.

Cada muestra de tejido fue depositada en un vaso de precipitado de 50 ml; en el cual fueron adicionados 10ml de ácido nítrico grado reactivo al 65.5% (suprapuro) (FIGURA 15).

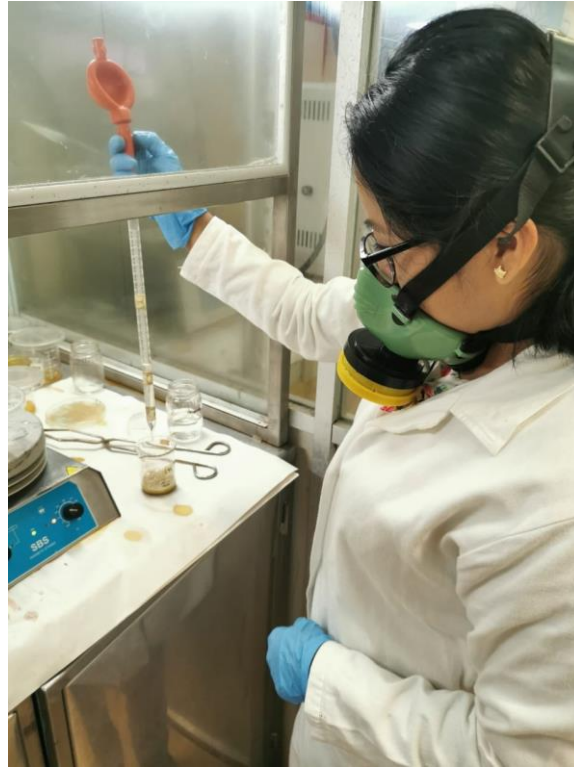


FIGURA 15. Muestra de tejidos de *Carcharhinus limbatus* con 10ml de ácido nítrico grado reactivo al 65.5% (suprapuro)

Posteriormente tapados con cajas Petri para permanecer 24 horas bajo la campana de extracción (FIGURA 16).

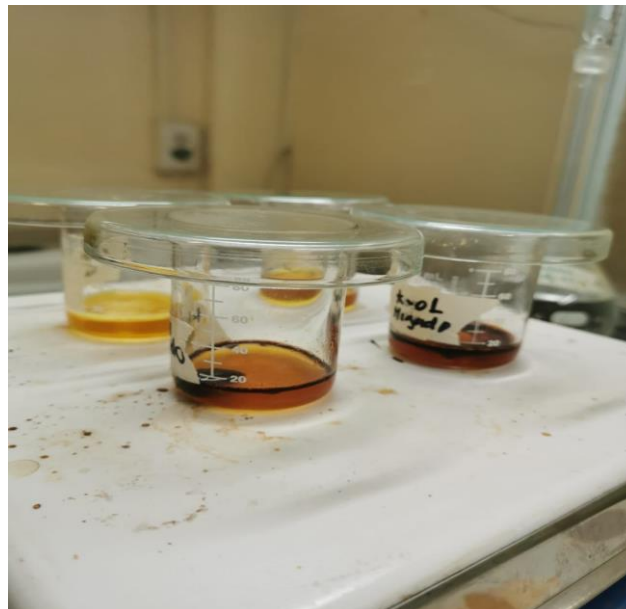


FIGURA 16. Muestra de tejidos de *Carcharhinus limbatus* reposada con Ac. Nítrico grado reactivo al 65.5% (suprapuro)

Transcurrido el tiempo de reposo los vasos fueron colocados en la parrilla eléctrica a temperatura de ebullición hasta reducir su volumen hasta 5ml. Una vez llegado al volumen deseado se agregó 5ml de peróxido de hidrogeno (FIGURA 17). Se dejó hervir la cantidad de veces necesarias para obtener una muestra de color amarillo claro, alcanzado el tono deseado se dejó consumir a 5 ml (FIGURA 18).



FIGURA 17. Muestra de tejidos de *Carcharhinus limbatus* con 5ml de peróxido de hidrogeno en parrilla

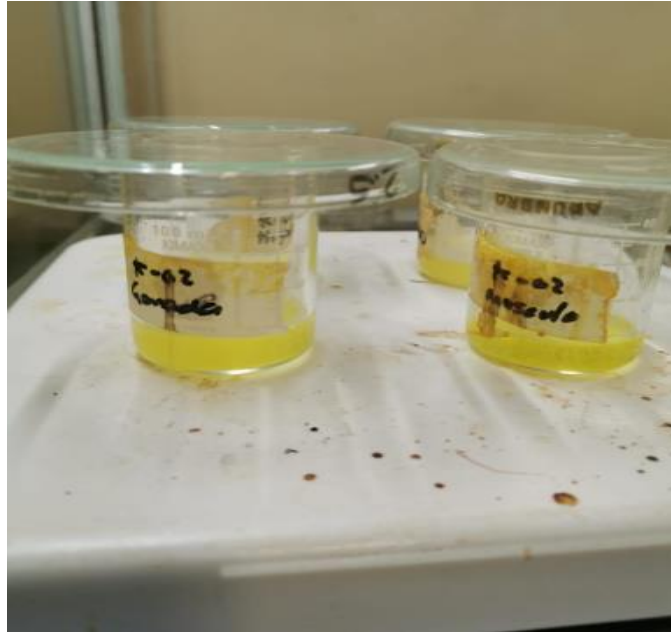


FIGURA 18. Muestra de tejidos de *Carcharhinus limbatus* después de ebullición

Las muestras obtenidas se filtraron en frascos usando una membrana MF- Millipore MCE de $0.45\ \mu\text{m}$ y una bomba de vacío (FIGURA 19). El volumen filtrado se transfirió a un matraz de 50 ml y se aforó con agua ácida, las soluciones obtenidas fueron homogeneizadas y preservadas en frascos a 4°C . (FIGURA 20).

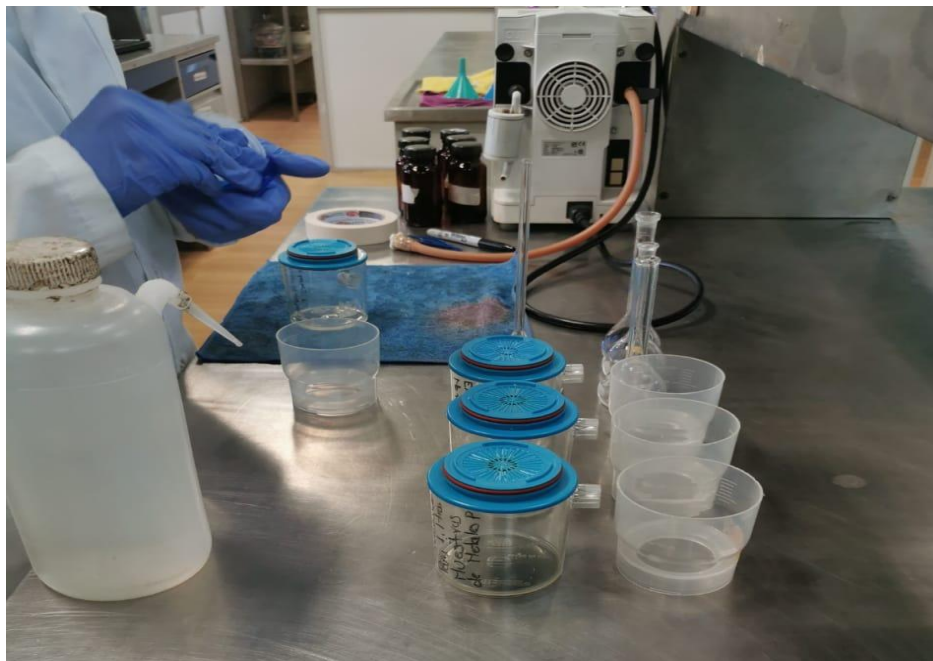


FIGURA 19. Muestras de tejidos de *Carcharhinus limbatus* filtradas



FIGURA 20. Solución homogenizada de la muestra de tejidos de *Carcharhinus limbatus*

5.10 ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

La lectura para el análisis de la cuantificación de metales pesados para Pb, Cd y Cu se realizó en un equipo de espectrofotometría de absorción atómica Thermo Cientific® Modelo Ice 3500 AA System mediante la espectrofotometría de flama (FIGURA 21). La metodología se realizó siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994.



FIGURA 21. Thermo Cientific® Modelo Ice 3500 AA System

5.11 PREPARACIÓN DE CURVAS DE CALIBRACIÓN

Las curvas de calibración preparadas obtuvieron un coeficiente de r^2 de 0.99, indicativo de la correcta preparación. Los parámetros empleados en el equipo de absorción atómica, para la lectura de las muestras y estándares certificados marca High Purity Standard, son descritos a continuación (TABLA 6).

TABLA 6. Parámetros de equipo de espectrofotometría de absorción atómica Thermo Cientific®
Modelo Ice 3500 AA Systema

	Plomo	Cadmio	Cobre
Parámetros espectrómetro			
Longitud de onda	217.0 nm	228.8 nm	324.8 nm
Corrección de fondo	D2	D2	D2
Tiempo de medida	4.0 sg	4.0 sg	4.0 sg
Modo de medida	Absorbancia	Absorbancia	Absorbancia
Corriente lampara	75%	50%	75%
Parámetros llama			
Tipo de llama	Aire-C ₂ H ₂	Aire-C ₂ H ₂	Aire-C ₂ H ₂
Altura de mechero	7.0mm	7.0mm	7.0mm
Flujo combustible	1.1 L/min	1.2 L/min	1.1 L/min
Estabilización de mechero	0 mins	0 mins	0 mins
Parámetro de calibración			
Modo de calibración	Normal	Normal	Normal
Ajuste aceptable	0.950	0.950	0.950

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó el paquete de Excel copy Microsoft versión 10s como herramienta para calcular las concentraciones de cada tejidos y contaminante entre sí y se comparó la concentración media de los de metales pesados Cu, Cd y Pb con los límites máximos permisibles de la Norma Mexicana NOM-242-SSA-2009 (NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios) y con límites internacionales (codex, 1999 y OMS).

Se ejecutó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor con un 95% de nivel de confianza entre las concentraciones de los metales y los tejidos del tiburón *Carcharhinus limbatus*, posteriormente fue realizada la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (comparación de medias) con un 95% de nivel de confianza, todos los análisis se realizaron en el programa de MINITAB 18 (versión 18.1; sistema operativo Windows, Minitab Inc., State College, Pennsylvania, USA).

7. RESULTADOS

La colecta de muestra se llevó a cabo de diciembre a marzo del 2019 donde se obtuvieron 4 ejemplares de la especie *Carcharhinus limbatus* 3 machos y 1 hembra. La longitud total (LT) de los organismos oscilaban entre los 120 y 140 cm (129.25 ± 9.7766) y con un peso entre los 5 y 6 kg (5.55 ± 0.5507).

Para la lectura de metales los registros generales en las 4 muestras en tejido muscular, gónada e hígado para Pb, Cd y Cu, fueron las siguientes: Para Plomo 0.0618 a 0.0201 (0.0466 ± 0.0129) mg kg⁻¹. Para Cadmio 0.0501 a 0.0418 (0.0447 ± 0.0022) mg kg⁻¹. Para Cu fue de 0.0566 a 0.0566 (0.0248 ± 0.0133) mg kg⁻¹.

Contaminantes en tejido muscular

Para el tejido muscular las concentraciones registradas para Pb fueron 0.0437 a 0.0604 (0.0508 ± 0.0070) mg kg⁻¹. Para Cd fueron 0.0427 a 0.0447 (0.0438 ± 0.0012) mg kg⁻¹. Y finalmente para Cu las concentraciones registradas fueron de 0.01 a 0.0176 (0.0122 ± 0.0036) mg kg⁻¹.

Contaminante en tejido gonádico

Para el tejido de gónada las concentraciones registradas de Pb fueron 0.0201 a 0.0414 (0.032 ± 0.0088) mg kg⁻¹. Para Cd fueron de 0.0418 a 0.0501 (0.044 ± 0.0036) mg kg⁻¹. Y finalmente para Cu fue de 0.0173 a 0.035 (0.0284 ± 0.0082) mg kg⁻¹.

Contaminante en tejido de hígado

Las concentraciones registradas para Pb fueron 0.0503 a 0.0618 (0.0572 ± 0.0053) mg kg⁻¹. Para Cd las concentraciones fueron de 0.0445 a 0.0475 (0.045 ± 0.0013) mg kg⁻¹. Finalmente, para Cu fueron de 0.024 a 0.0566 (0.033 ± 0.0153) mg kg⁻¹.

En la recuperación de parásitos del tiburón *Carcharhinus limbatus* encontramos seis diferentes tipos de céstodos dentro de estómago e intestinos, los cuales por sus características morfológicas y ubicación del hospedero pueden ser del Orden Trypanorhyncha, Orden Onchoproteocephalidea como la especie *Phoreiobothrium* sp. y del Orden Phyllobothriidea como la especie *Paraorygmatobothrium* cf. *sinuspersicense*

Para los céstodos no se analizaron las proporciones de concentración de metales pesados debido a que las concentraciones fueron menores a $<0.0028 \text{ mg kg}^{-1}$ (concentraciones indetectables por equipo de absorción atómica *Thermo Cientific* Modelo Ice™ 3500 AA System).

7.1 CONCENTRACIÓN MEDIA PARA PLOMO (Pb), CADMIO (Cd) Y COBRE (Cu) EN CADA TEJIDO DE *Carcharhinus Limbatus*

7.1.1 PLOMO (Pb)

Se analizó el promedio de plomo en cada tejido de *C. limbatus* con las siguientes concentraciones para gónada $0.032(\pm 0.0088) \text{ mg kg}^{-1}$, músculo $0.05085(\pm 0.0070) \text{ mg kg}^{-1}$ e hígado $0.0572(\pm 0.0053) \text{ mg kg}^{-1}$ (FIGURA 22).

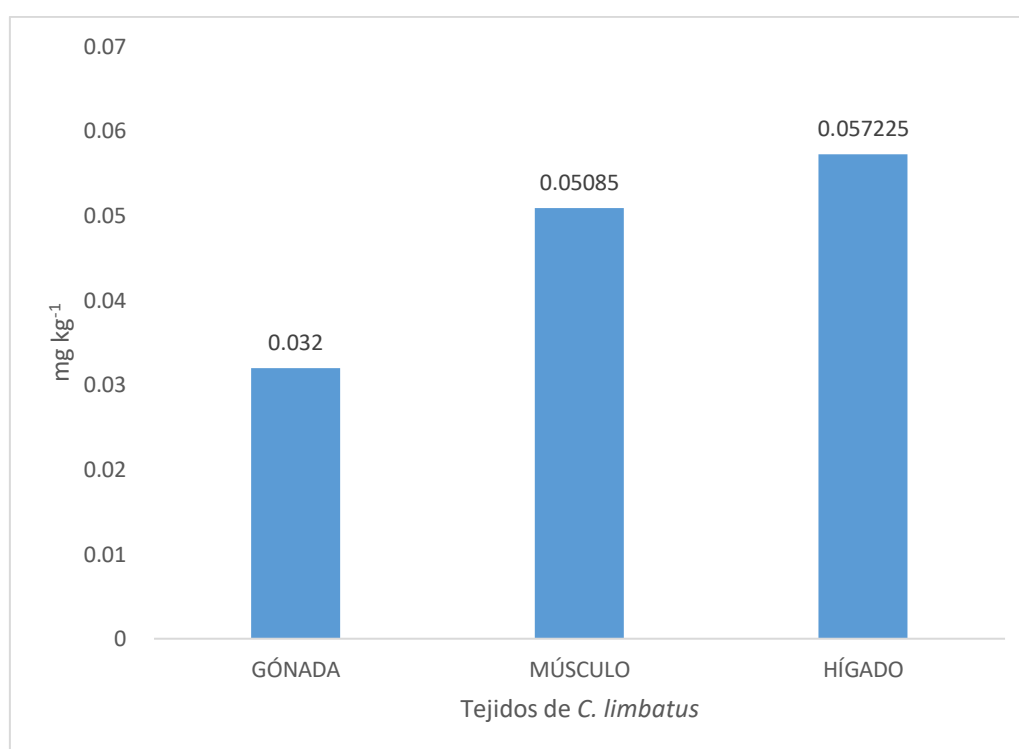


FIGURA 22. Concentración de Plomo en tejidos de *Carcharhinus limbatus* colectadas de Mata de Uva, Veracruz

7.1.2 CADMIO (Cd)

El promedio de cadmio en cada tejido de *C. limbatus* fueron las siguientes concentraciones para gónada $0.0448(\pm 0.0036)$ mg kg⁻¹, músculo $0.0438(\pm 0.0012)$ mg kg⁻¹ e hígado $0.0454(\pm 0.0013)$ mg kg⁻¹ (FIGURA 23).

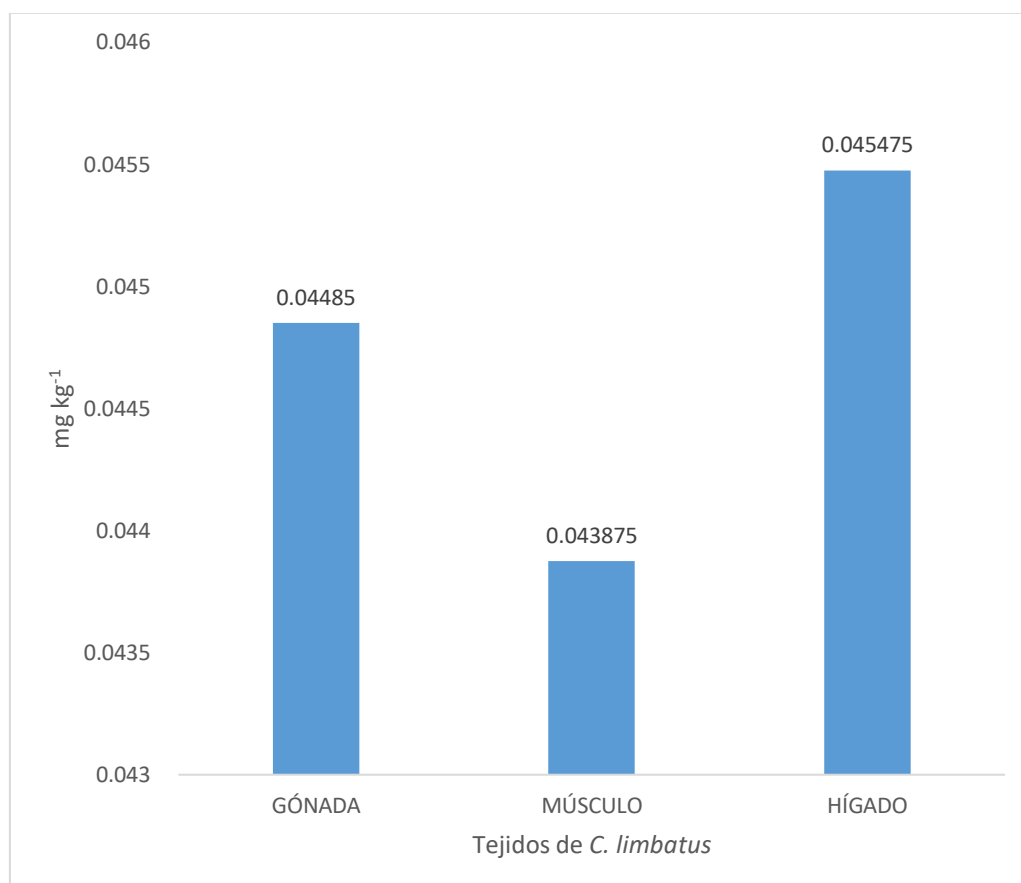


FIGURA 23. Concentración de Cadmio en tejidos de *Carcharhinus limbatus* colectadas de Mata de Uva, Veracruz

7.1.3 COBRE (Cu)

Las concentraciones medias para cobre en tejido de gónada fueron de $0.0284(\pm 0.0082)$ mg kg^{-1} , musculo $0.0122(\pm 0.0036)$ mg kg^{-1} e hígado con $0.0339(\pm 0.0015)$ mg kg^{-1} (FIGURA 24).

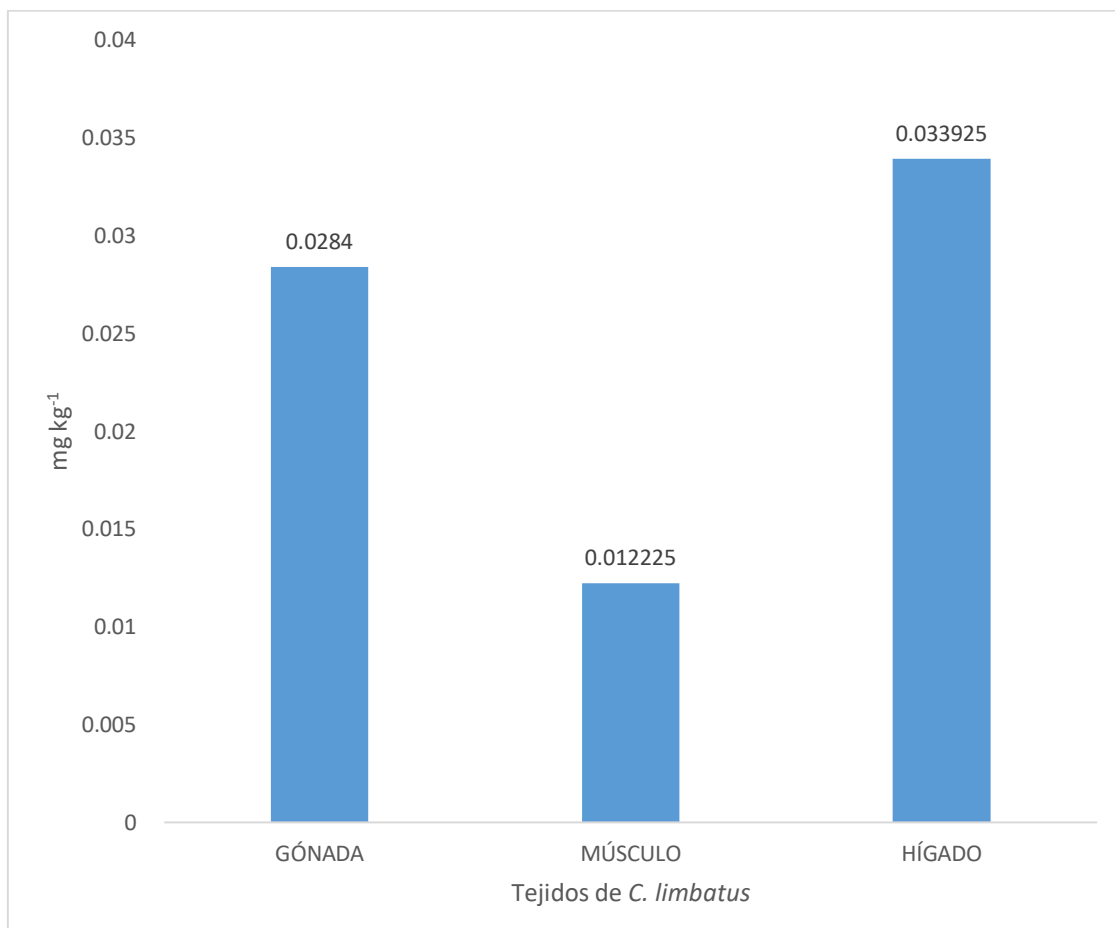


FIGURA 24. Concentración de Cobre en tejidos de *Carcharhinus limbatus* colectadas de Mata de Uva, Veracruz

7.2 CONCENTRACIÓN GENERAL DE METALES PESADOS EN TEJIDO MUSCULAR, HÍGADO Y GÓNADA DE *Carcharhinus limbatus*.

Se analizó la concentración media general, la desviación estándar e intervalos de valores mínimos y máximos de Pb Cd y Cu encontrado en los diferentes tejidos de *C. limbatus* los cuales fueron para Pb $0.0466 \pm 0.0129 \text{ mg kg}^{-1}$, Cd $0.0447 \pm 0.0022 \text{ mg kg}^{-1}$ y para Cu $0.0248 \pm 0.0133 \text{ mg kg}^{-1}$.

Las concentraciones máximas de Pb, Cd y Cu de las muestras de tejido muscular, hígado y gónada de *C. limbatus* colectados en Mata de Uva, Alvarado $0.0618 \text{ mg kg}^{-1}$, $0.0501 \text{ mg kg}^{-1}$ y $0.0566 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. Las concentraciones mínimas de Pb, Cd y Cu de las muestras de tejido muscular, hígado y gónada de *C. limbatus* colectados en Mata de Uva, Alvarado $0.0201 \text{ mg kg}^{-1}$, $0.0418 \text{ mg kg}^{-1}$ y 0.01 mg kg^{-1} respectivamente (TABLA 7).

TABLA 7. Concentración media de metales pesados Pb, Cd y Cu ($\pm$ DE), e intervalos de valores min y máx en tejido muscular, hígado y gónada de *Carcharhinus limbatus*

Metal Pesado	Media ($\pm$ DE) (mg kg^{-1})	Intervalo min. - máx. (mg kg^{-1})
Pb	0.0466 ± 0.0129	0.0201 - 0.0618
Cd	0.0447 ± 0.0022	0.0418 - 0.0501
Cu	0.0248 ± 0.0133	0.01 - 0.0566

7.3 CONCENTRACIÓN POR METAL

7.3.1 PLOMO (Pb)

El resultado de las concentraciones de Pb en los tejidos de los organismos de *C. limbatus* procesadas en MINITAB 18 se realizó un ANOVA (TABLA 8) que nos indica un p de 0.002 menor que el nivel de significancia de 0.05, concluyendo que existen diferencias significativas entre las medias de cada tejido de *C. limbatus*.

TABLA 8. ANOVA para concentración de Plomo en tejidos de *Carcharhinus limbatus*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0.001376	0.000688	13.24	0.002
Error	9	0.000468	0.000052		
Total	11	0.001844			

Se utilizó la tabla de Información de agrupación (TABLA 9) para comprobar las diferencias de las medias y determinar si esas diferencias entre los pares específicos de grupos son estadísticamente significativas y como resultado nos indicó que hígado 0.05722 mg kg⁻¹ y musculo 0.05085 mg kg⁻¹ tienen un valor de concentración de plomo similar a diferencia de la gónada 0.03200 mg kg⁻¹ que tiene un valor de media menor.

TABLA 9. Comparación de promedios de Pb en tejidos de *Carcharhinus limbatus*

Factor	N	Media	Agrupación
Hígado	4	0.05722	A
Músculo	4	0.05085	A
Gónada	4	0.03200	B

Se gráfico de intervalos de las concentraciones de Pb con un nivel de confianza de 95% para evaluar y comparar los intervalos de confianza de las medias de los grupos (músculo, hígado y gónada) (FIGURA 25).

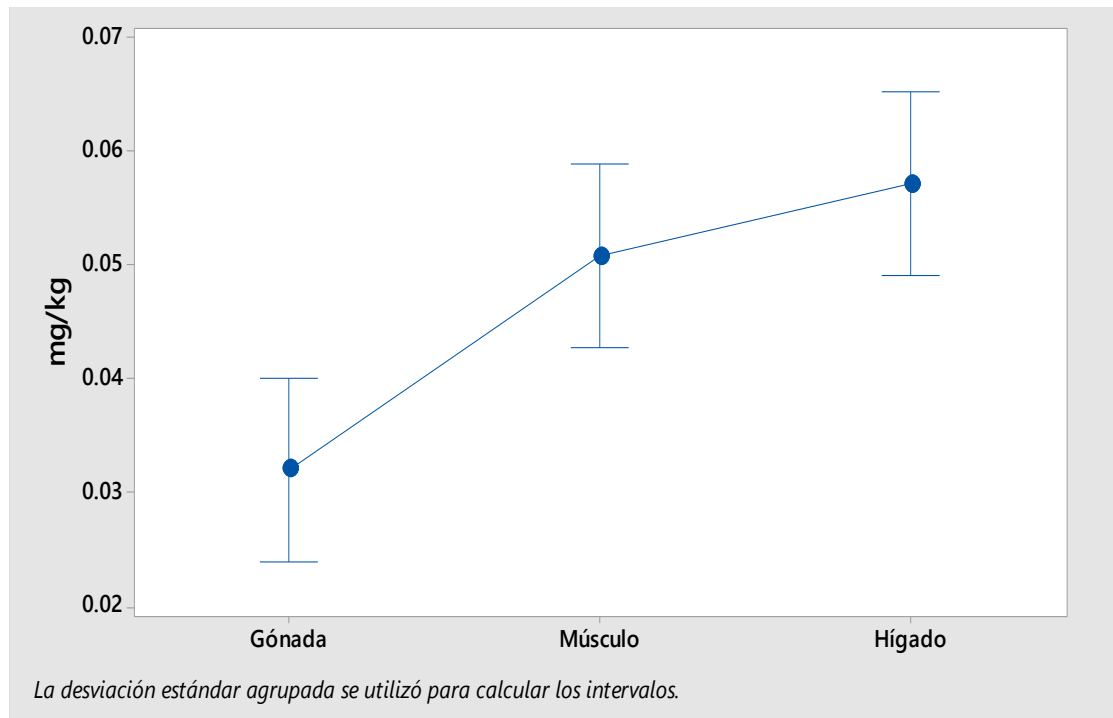


FIGURA 25. Gráfica de intervalos de concentración media de Pb en tejidos de *Carcharhinus limbatus*

Para corroborar esta información se realizó una prueba de Tukey (FIGURA 26) para determinar la diferencia entre las medias con un nivel de confianza de 95% y se pudo comprobar que existe una diferencia entre las concentraciones de Pb en los tejidos del tiburón, donde se observa una concentración mayor en hígado y musculo a diferencia de la gónada.

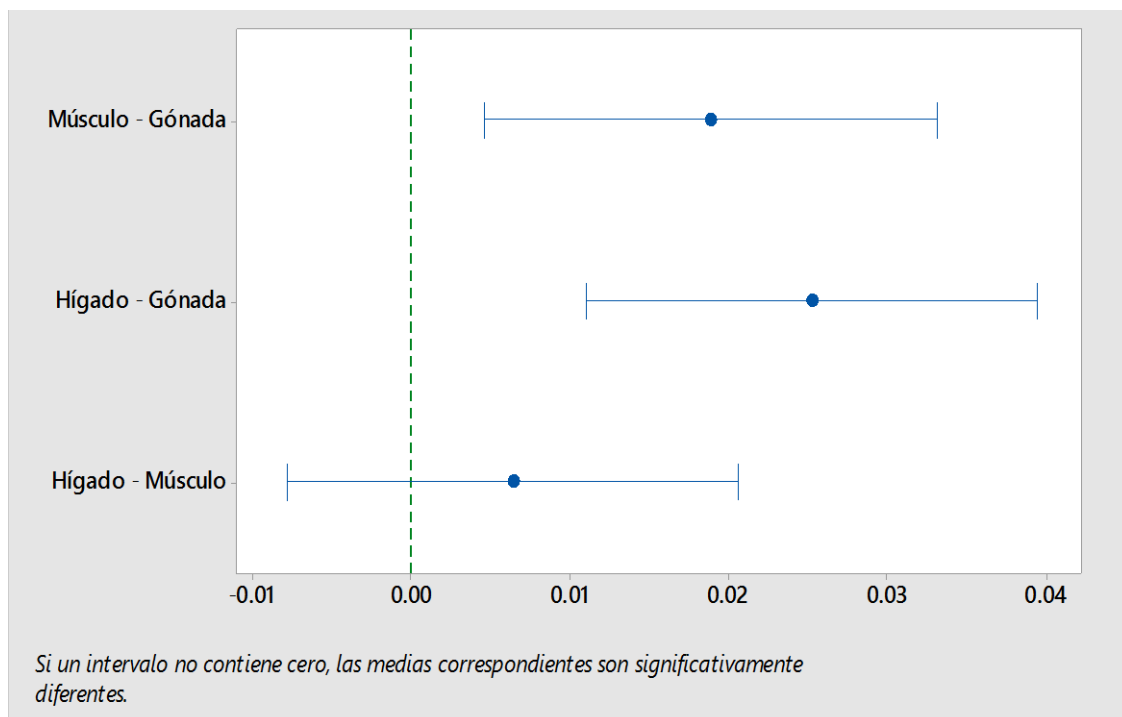


FIGURA 26. Simultáneos de Tukey para determinar las concentraciones medias de Pb en los diferentes tejidos de *Carcharhinus limbatus*

7.3.2 CADMIO (Cd)

El resultado de las concentraciones de Cd en los tejidos de los organismos de *C. limbatus* procesadas en MINITAB 18 se realizó un ANOVA nos indica un p de 0.639 mayor que el nivel de significancia de 0.05, concluyendo que no existen diferencias significativas entre las medias de cada tejido de *C. limbatus* (TABLA 10).

TABLA 10. ANOVA para concentración de Cadmio en tejidos de *Carcharhinus limbatus*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0.000005	0.000003	0.47	0.639
Error	9	0.000050	0.000006		
Total	11	0.000055			

Al igual que en Plomo se utilizó la tabla Información de agrupación (TABLA 11) para probar las diferencias de las medias y determinar que no existe diferencias significativas entre los grupos, como resultado nos indicó que hígado 0.045475 mg kg⁻¹, gónada 0.044850 mg kg⁻¹ y músculo 0.043875 mg kg⁻¹ tienen un valor de concentración de cadmio similar.

TABLA 11. Comparación de promedios de Cd en tejidos de *Carcharhinus limbatus*

Factor	N	Media	Agrupación
Hígado	4	0.045475	A
Gónada	4	0.04485	A
Músculo	4	0.043875	A

Se gráfico una tabla de intervalos de las concentraciones de Cd con un nivel de confianza de 95% para evaluar y comparar los intervalos de confianza de las medias de los grupos (músculo, hígado y gónada) (FIGURA 25).

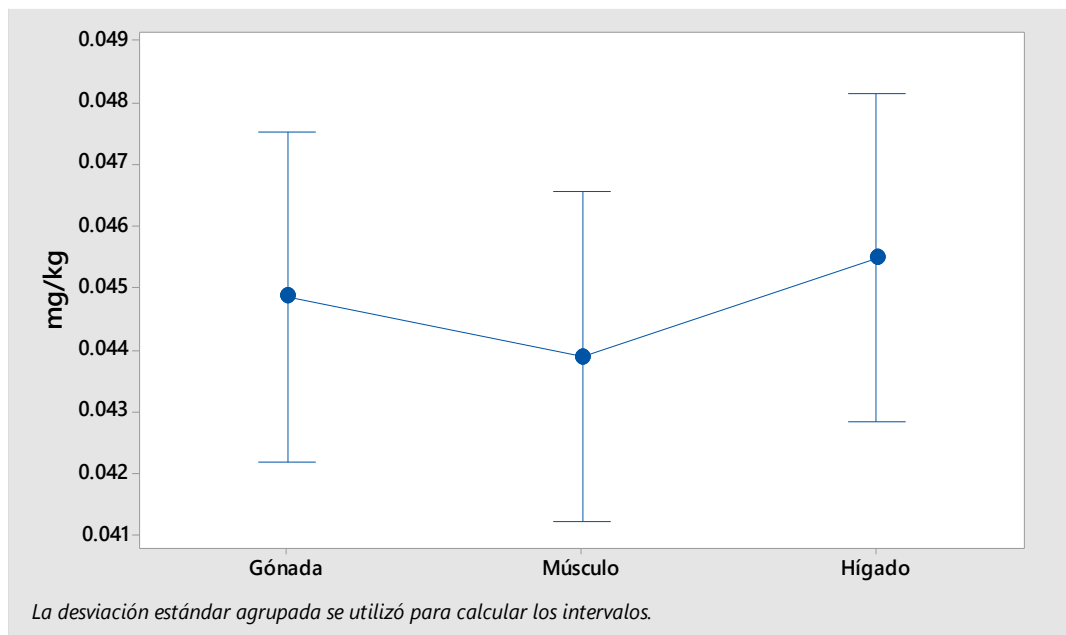


FIGURA 27. Gráfica de intervalos de las concentraciones de Cd en tejidos de *Carcharhinus limbatus*

Para comprobar se realizó una prueba de Tukey (FIGURA 26) para determinar la diferencia entre las medias con un nivel de confianza de 95% y se pudo comprobar que no existe una diferencia significativa entre las concentraciones de Cd en los diferentes tejidos del tiburón *C. limbatus*.

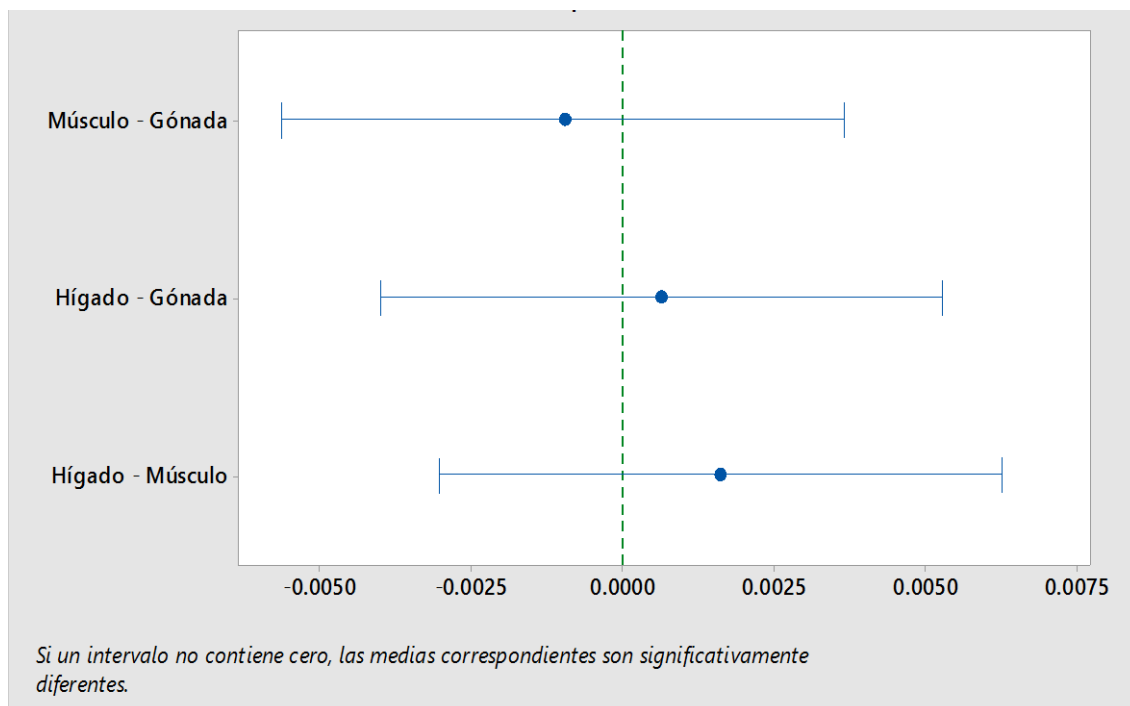


FIGURA 28. Simultáneos de Tukey para determinar las concentraciones medias de Cd en los diferentes tejidos de *Carcharhinus limbatus*

7.3.3 COBRE (Cu)

El resultado de las concentraciones de Cobre en los tejidos de los organismos de *C. limbatus* procesadas en MINITAB 18 se realizó un ANOVA que nos indica un p de 0.038 menor que el nivel de significancia de 0.05, concluyendo que existen diferencias significativas entre las medias de cada tejido de *C. limbatus* (TABLA 12).

TABLA 12. ANOVA para la concentración de Cobre en tejidos de *Carcharhinus limbatus*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0.001017	0.000509	4.80	0.038
Error	9	0.000955	0.000106		
Total	11	0.001972			

Se utilizó la tabla de Información de agrupación de medias (TABLA 13) para probar las diferencias de las medias y determinar si esas diferencias entre los pares específicos de grupos son estadísticamente significativas y como resultado nos indicó que hígado $0.03393 \text{ mg kg}^{-1}$ y gónada con $0.02840 \text{ mg kg}^{-1}$ tienen un valor de concentración de plomo similar, al igual que gónada $0.02840 \text{ mg kg}^{-1}$ y músculo con $0.01223 \text{ mg kg}^{-1}$, a diferencia de hígado con músculo que fueron totalmente diferentes entre sí.

TABLA 13. Comparación de promedios de Cu en tejidos de *Carcharhinus limbatus*

Factor	N	Media	Agrupación	
Hígado	4	0.03393	A	
Gónada	4	0.02840	A	B
Músculo	4	0.01223		B

Se realizó una gráfica de intervalos de las concentraciones de Cu con un nivel de confianza de 95% para evaluar y comparar los intervalos de confianza de las medias de los grupos (músculo, hígado y gónada) (FIGURA 29).

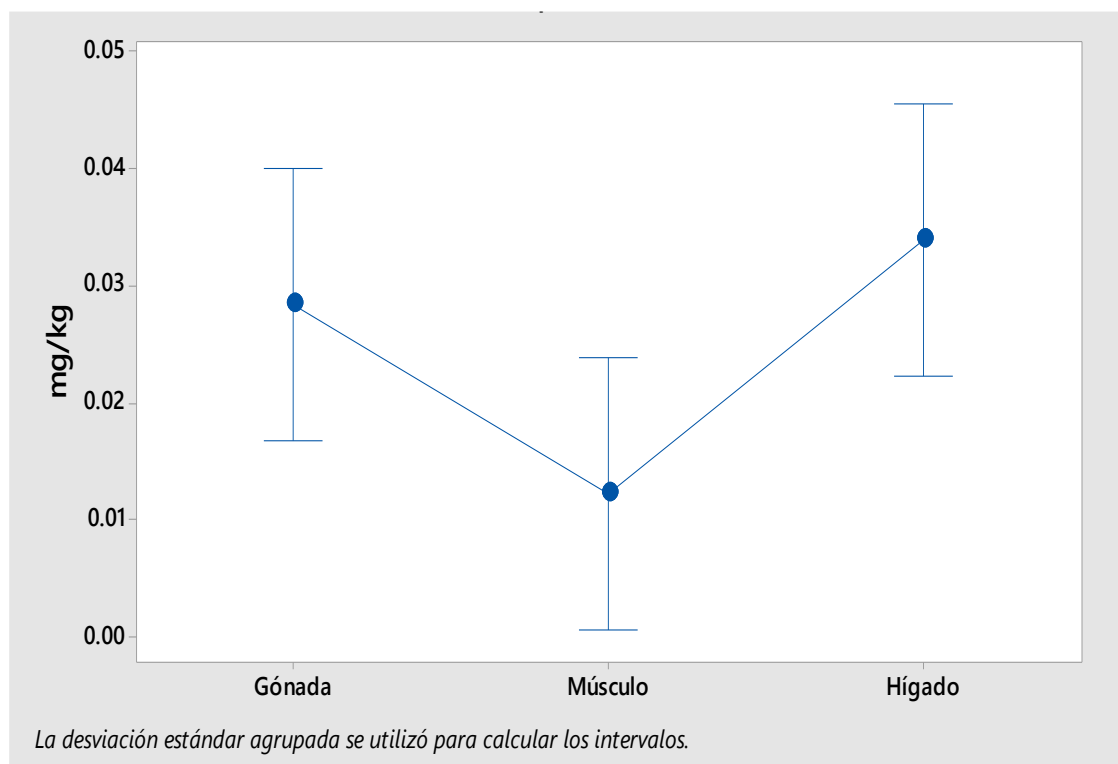


FIGURA 29. Gráfica de intervalos de las concentraciones de Cu en tejidos de *Carcharhinus limbatus*

Para comprobar se realizó una prueba de Tukey (FIGURA 30) para determinar la diferencia entre las medias con un nivel de confianza de 95% y se pudo comprobar que existe una diferencia significativa entre las concentraciones de Cobre en hígado y gónada, al igual que gónada y músculo, pero no entre hígado y músculo.

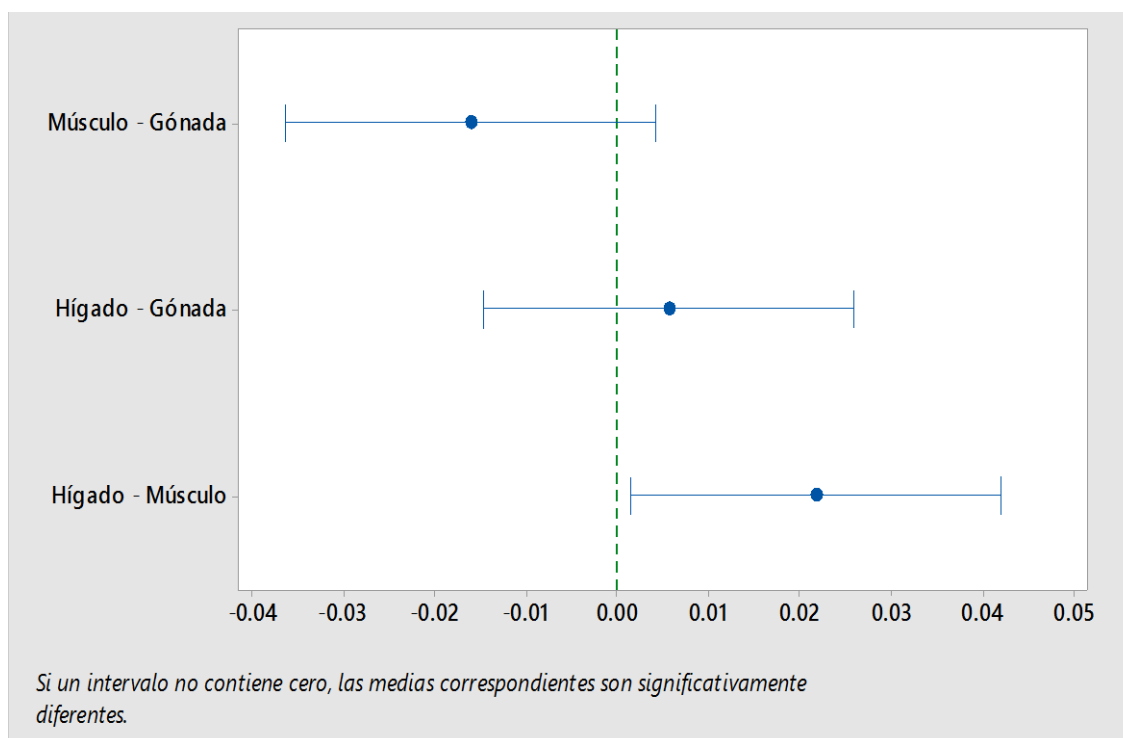


FIGURA 30. Simultáneos de Tukey para determinar las concentraciones medias de Cu en los diferentes tejidos de *Carcharhinus limbatus*

7.4 PROPORCIÓN ENTRE LA RELACIÓN DE METALES PESADOS Y TEJIDOS DE *Carcharhinus limbatus*

Se analizó la proporción entre las concentraciones de los metales pesados respecto a los tejidos; músculo, gónada e hígado. Las proporciones para las concentraciones de plomo se presentaron 1:1 (músculo vs gónada), (músculo vs hígado) y 1:1.5 (gónada vs hígado). En tanto, para las proporciones de Cd fue de 1:1 (músculo vs gónada) (músculo vs hígado) y de 1:1.5 (gónada vs hígado). Las proporciones de concentración para Cu fueron 1:3 (músculo vs gónada) y (músculo vs hígado) y con 1:1 (gónada vs hígado) (TABLA 14).

TABLA 14. Proporciones entre Metales pesados y tejido de músculo, gónada e hígado de *Carcharhinus limbatus*

PLOMO	Músculo	Gónada	Hígado
Músculo		1:1	1:1
Gónada			1:1.5
Hígado			
CADMIO	Músculo	Gónada	Hígado
Músculo		1:1	1:1
Gónada			1:1.5
Hígado			
COBRE	Músculo	Gónada	Hígado
Músculo		1:3	1:3
Gónada			1:1
Hígado			

7.5 COMPARACIÓN DEL PROMEDIO DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN TEJIDOS CON LOS LIMITES PERMISIBLES.

Se hizo una comparación del promedio de concentración para Pb y Cd de cada tejido de *C. limbatus* con las NOM-242-SSA1-2009, OMS (WHO) y CODEX STAN 193-1995. Para cobre no se realizó una comparación ya que ninguna de estas normas tiene un valor como límite permisible para este metal.

7.5.1 PLOMO (Pb)

Se determino el promedio de la concentración de plomo en gónada con 0.032 mg kg^{-1} , músculo $0.0508 \text{ mg kg}^{-1}$ e hígado con un promedio de $0.0572 \text{ mg kg}^{-1}$ y se comparó cada una con la Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, OMS (WHO) y CODEX STAN 193-1995 (TABLA 15).

TABLA 15. Concentración de metales pesados en tejidos de *Carcharhinus limbatus* (mg kg^{-1}) de Pb con las normas oficiales

	Gónada	Músculo	Hígado
	0.0201	0.0437	0.0558
Concentración	0.0342	0.0508	0.0503
mg kg^{-1}	0.0414	0.0604	0.0618
	0.0323	0.0485	0.061
Promedio	0.032	0.05085	0.057225
NOM-242-SSA1-2009	0.5	0.5	0.5
OMS(WHO)	0.02	0.02	0.02
CODEX STAN 193-1995	0.03	0.03	0.03

Posteriormente se graficó el promedio de cada metal pesado con cada tejido de *Carcharhinus limbatus*

El promedio de Plomo en gónada obtuvo $0.032 (\pm 0.0088)$ mg kg^{-1} el cual no rebasa los límites permisibles para la Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009 que tiene un valor de límite de 0.05 mg kg^{-1} , en comparación con la OMS (WHO) que si rebasa por solo un 0.01 mg kg^{-1} y para CODEX STAN 193-1995 se encuentra en el límite (FIGURA 31).

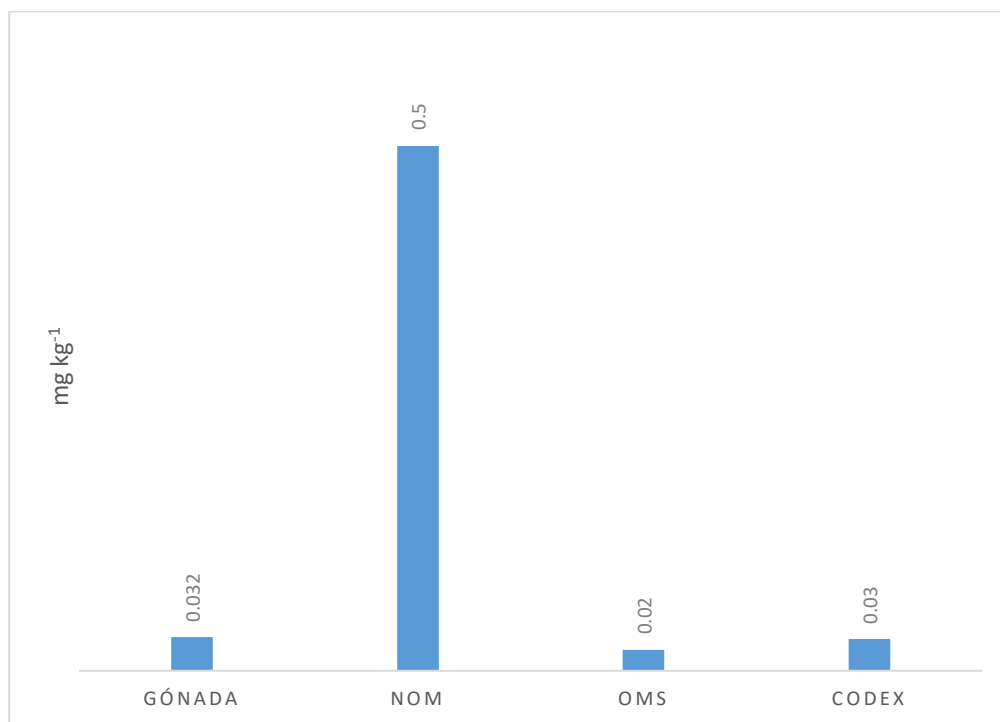


FIGURA 31. Comparación de la concentración de Pb en gónada de tiburón *Carcharhinus limbatus*

El promedio de Plomo en músculo obtuvo $0.050 (\pm 0.0070)$ mg kg^{-1} el cual no rebasa los límites permisibles para la NOM-242-SSA1-2009 que tiene un valor de límite de 0.05 mg kg^{-1} , en comparación con la OMS (WHO) que si rebasa por solo un 0.03 mg kg^{-1} y para CODEX STAN 193-1995 rebasa 0.02 mg kg (FIGURA 32).

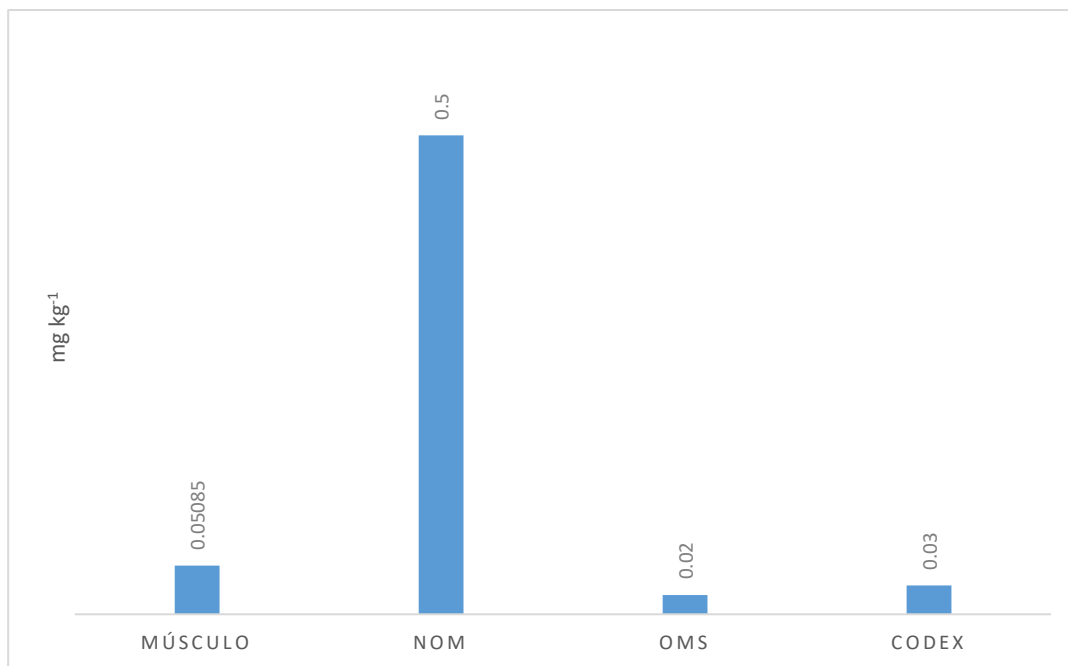


FIGURA 32. Comparación de la concentración de Pb en músculo de tiburón *Carcharhinus limbatus*

El promedio de Plomo en hígado obtuvo $0.057(\pm 0.0053)$ mg kg⁻¹ el cual no rebasa los límites permisibles para la NOM-242-SSA1-2009 que tiene un valor de límite de 0.05 mg kg⁻¹, en comparación con la OMS (WHO) que si rebasa por solo un 0.03 mg kg⁻¹ y para CODEX STAN 193-1995 rebasa 0.02 mg kg⁻¹ (FIGURA 33).

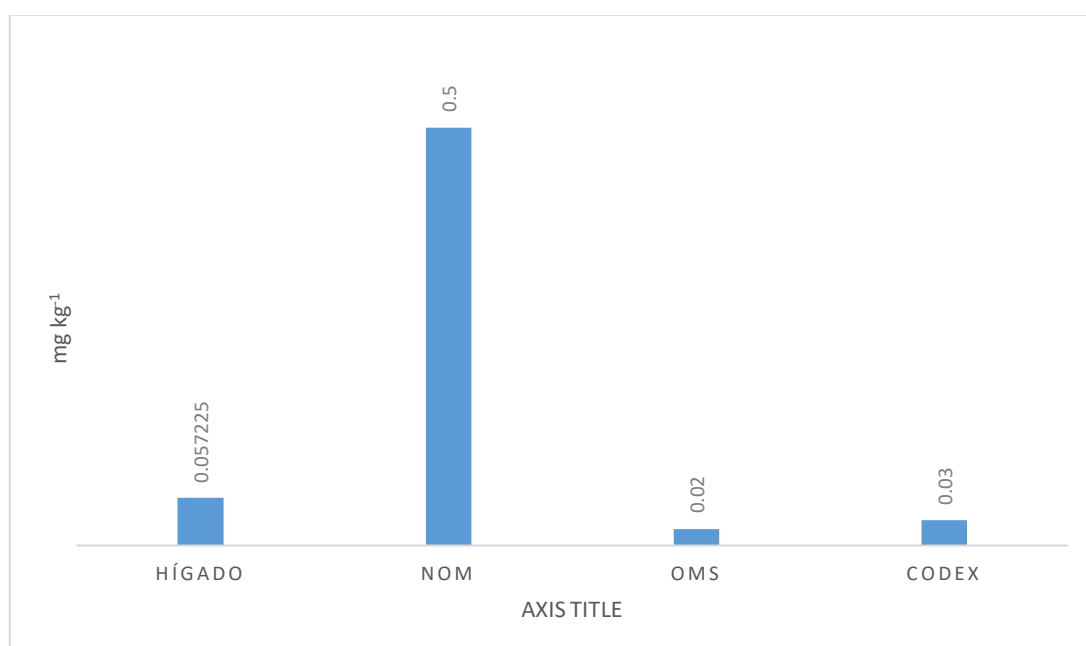


FIGURA 33. Comparación de la concentración de Pb en hígado de tiburón *Carcharhinus limbatus*

7.5.2 CADMIO (Cd)

El promedio de la concentración de Cadmio en gónada fue de 0.0448 mg kg⁻¹, músculo 0.0438 mg kg⁻¹ e hígado con un promedio de 0.0454 mg kg⁻¹ y se comparó cada una con la NOM-242-SSA1-2009, OMS (WHO) y CODEX STAN 193-1995 (TABLA 16).

TABLA 16. Concentración de metales pesados en tejidos de *Carcharhinus limbatus* (mg kg⁻¹) de Cd con las normas oficiales

	Gónada	Músculo	Hígado
	0.0418	0.0427	0.0445
Concentración	0.0501	0.0429	0.0475
mg kg ⁻¹	0.044	0.0452	0.0449
	0.0435	0.0447	0.045
Promedio	0.04485	0.043875	0.045475
NOM-242-SSA1-2009	0.5	0.5	0.5
OMS (WHO)	2	2	2
CODEX STAN 193-1995	2	2	2

Posteriormente se graficó cada metal pesado con cada tejido de *C. limbatus*

El promedio de Cadmio en gónada obtuvo 0.044(±0.0036) mg kg⁻¹ el cual no rebasa los límites permisibles para la NOM-242-SSA1-2009 que tiene un valor de límite de 0.05 mg kg⁻¹, ni para la OMS (WHO) y CODEX STAN 193-1995 que tienen un valor permisible de 2 mg kg⁻¹ (FIGURA 32).

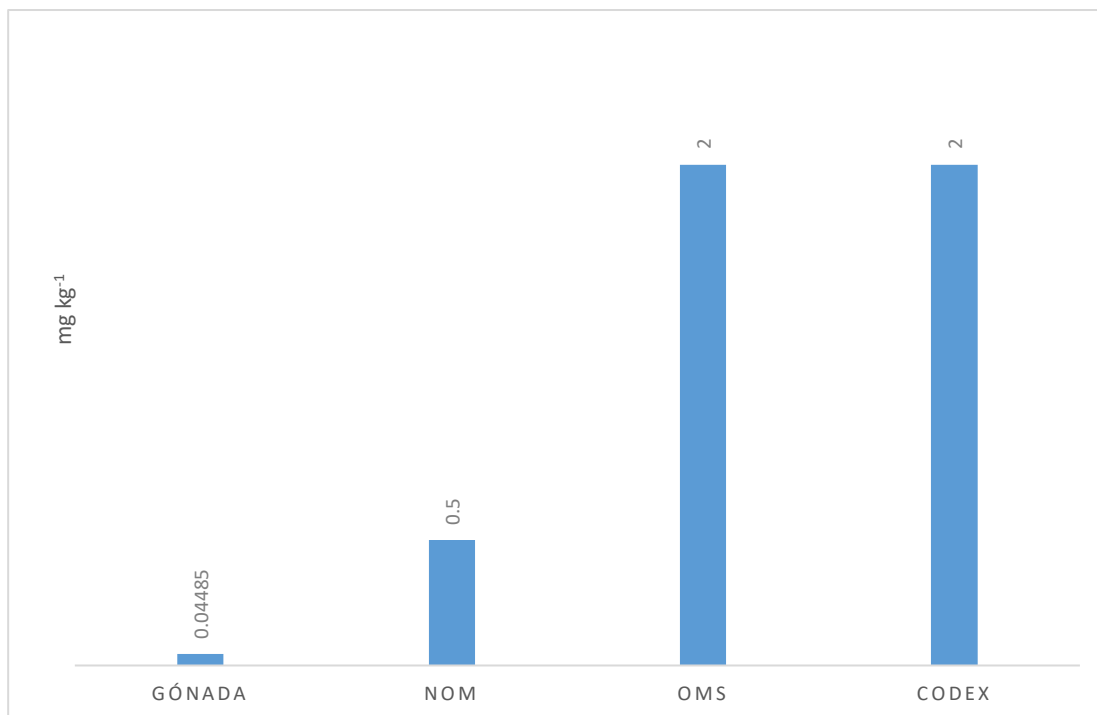


FIGURA 34. Comparación de la concentración de Cd en gónada de tiburón *Carcharhinus limbatus*

El promedio de Cadmio en músculo obtuvo 0.043(±0.0012) mg kg⁻¹ el cual no rebasa los límites permisibles para la NOM-242-SSA1-2009 que tiene un valor de límite de 0.05 mg kg⁻¹, ni para la OMS (WHO) y CODEX STAN 193-1995 que tienen un valor permisible de 2 mg kg⁻¹ (FIGURA 35).

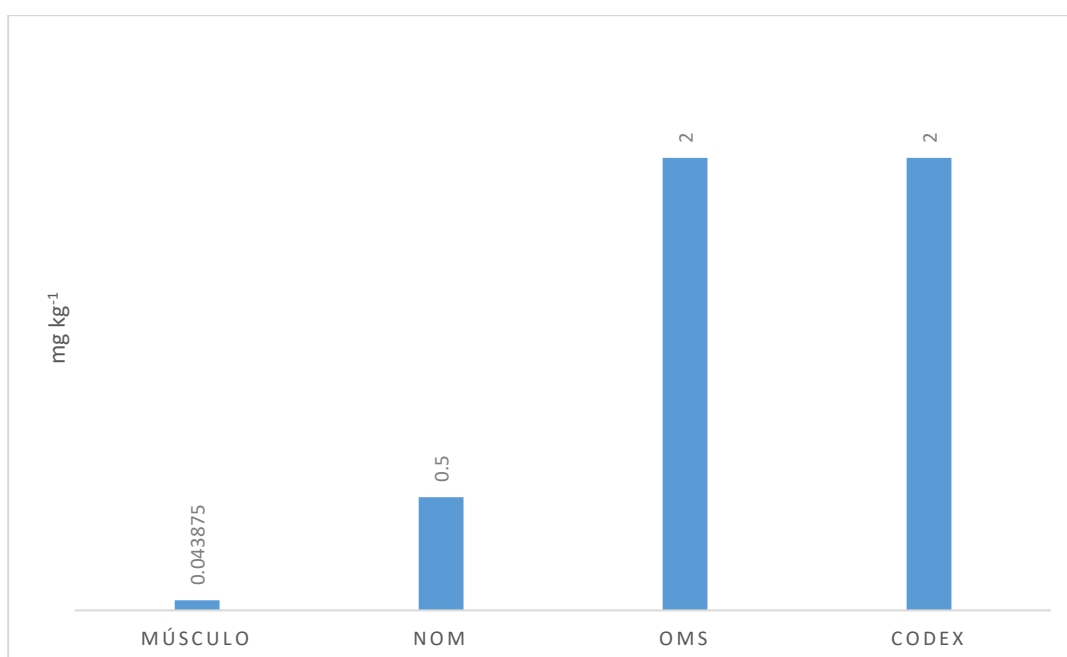


FIGURA 35. Comparación de la concentración de Cd en músculo de tiburón *Carcharhinus limbatus*

El promedio de Cadmio en hígado obtuvo $0.045(\pm 0.0013)$ mg kg^{-1} el cual no rebasa los límites permisibles para la NOM-242-SSA1-2009 que tiene un valor de límite de 0.05 mg kg^{-1} , ni para la OMS (WHO) y CODEX STAN 193-1995 que tienen un valor permisible de 2 mg kg^{-1} (FIGURA 36).

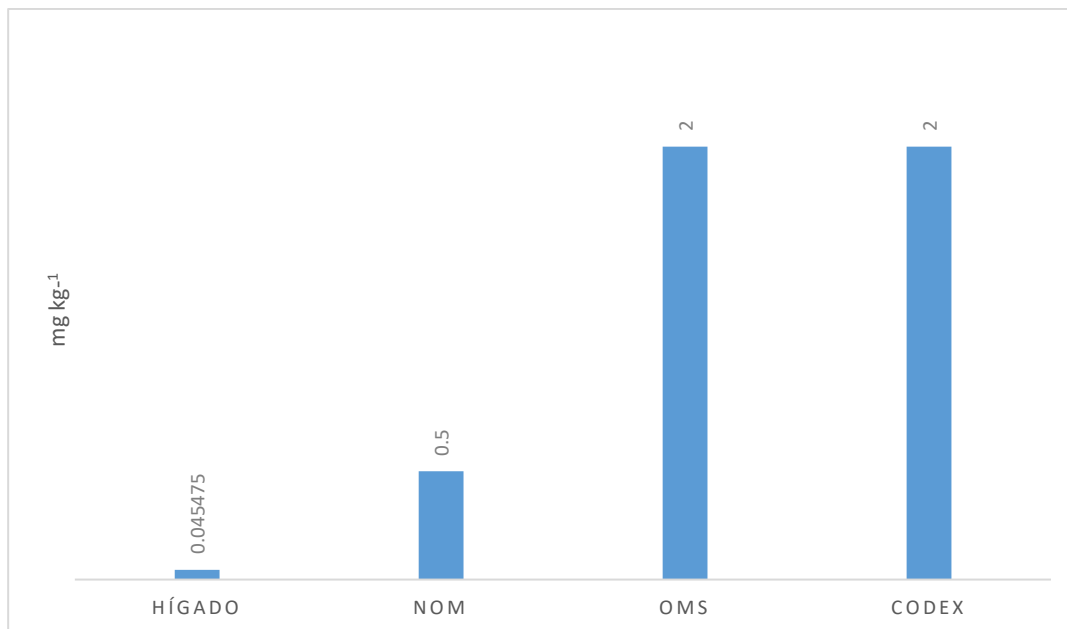


FIGURA 36. Comparación de la concentración de Cd en hígado de tiburón *Carcharhinus limbatus*

Para Cobre no se determinó ya que no existe aún parámetros que muestren las concentraciones máximas permisibles para este metal pesado.

Para los cestodos no se analizaron las proporciones de concentración de metales pesados debido a que las concentraciones fueron menores a $<0.0028 \text{ mg kg}^{-1}$ (concentraciones indetectables por equipo de absorción atómica *Thermo Cientific* Modelo Ice™ 3500 AA System, lo cual no es indicativo de ausencia de dichos metales, sino de una concentración que es menor a los límites de detección del instrumento utilizado y a su vez menos a los límites máximos permisibles por la normatividad mexicana.

8. DISCUSIÓN

Los metales pesados son ampliamente utilizados en las diversas ramas de la industria en la región costera del Golfo de México, incluidas las del refinado del petróleo, la producción de fertilizantes y las actividades mineras, estos entran al ambiente acuático a través del tráfico marítimo, carga, reparaciones, dragado, escorrentías por lluvias efluentes y polvo (Galkus *et al.*, 2012).

Lango-Reynoso (2014) menciona que los metales pesados en sedimentos marinos del PNSAV sobrepasa el límite establecido para sedimentos no contaminados por metales pesados con Cd, Cu y Zn; también se ha descrito para Plomo y Cadmio cuyas fuentes principales son la quema de combustibles fósiles como gasolina y el uso de materiales manufacturados se han registrados en el Sistema arrecifal Veracruzano (Horta-Puga y Carriquiry, 2014; Rosales-Hoz *et al.*, 2007, 2009).

Al entrar el contaminante al sistema marino son bioacumulados y biomagnificados a través de la cadena alimenticia por los organismos que habitan en este medio; los estudios del tiburón *C. limbatus* como bioindicador de las concentraciones de diferentes metales tóxicos son de gran importancia ya que se trata de una especie con alta distribución geográfica (Claro, 1994), importancia comercial (CONAPESCA-INP, 2004) entre otras características que lo posicionan como un buen candidato de organismo bioindicador.

En el presente trabajo se analizó las concentraciones medias de los metales pesados Plomo, Cadmio y Cobre en los tejidos y céstodos colectados en la localidad de Mata de Uva, Alvarado, Veracruz. A continuación, analizamos por contaminante estudiado.

Plomo

La concentración media de Pb para gónada fue de 0.032 mg kg⁻¹, músculo 0.05085 mg kg⁻¹ e hígado 0.0572 mg kg⁻¹, Así como en el estudio de Mendoza-Díaz *et al.* (2013) quienes analizaron la concentración de Hg, Pb, Cd, Cr y As en 19 muestras de hígado de *Carcharhinus limbatus* capturado en la laguna de Tamiahua y demuestran que los límites máximos permisibles por las leyes mexicanas no fueron rebasados y en su trabajo el Pb no pudo ser determinado ya que las muestras no fueron detectadas por el espectrofotómetro (0.1 mg kg⁻¹).

Espinoza (2016) en su trabajo de bioacumulación y biomagnificación de Cd, Hg y Pb, en *Mustelus henlei* (Gill, 1863) de la costa suroccidental de Baja California Sur. Determinaron la concentración de Cd, Hg y Pb en el músculo, hígado y riñón del tiburón *Mustelus henlei* y sus presas, los resultados presentados en peso húmedo indican que el Pb se concentró en mayor cantidad en el músculo ($0.43 \pm 0.93 \mu\text{g g}^{-1}$) y en menor concentración en el hígado ($0.16 \pm 0.10 \mu\text{g g}^{-1}$) comparándolo con este trabajo donde músculo $0.05085 \text{ mg kg}^{-1}$ obtuvo menor concentración en Pb que hígado $0.0572 \text{ mg kg}^{-1}$. A comparación (Núñez-Nogueira, 2005), quien evaluó las concentraciones de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Se y Zn en branquias, hígado, cerebro y músculo de 42 organismos de *Carcharhinus limbatus* y *Rhizoprionodon terraenovae* capturados en playa Chachalacas y el Puerto de Veracruz que obtuvo al igual que Espinoza (2016) mayor concentración en músculo que en hígado.

Cadmio

La concentración media de Cd para gónada $0.0448 \text{ mg kg}^{-1}$, músculo $0.0438 \text{ mg kg}^{-1}$ e hígado $0.0454 \text{ mg kg}^{-1}$, (Ruiz *et al.*, 1996), realizaron un estudio de metales pesados (Cd y Hg) en peces nicuro (*Pimelodonus clarias*) y bocachico (*Prochilodus magdalenae*) capturados en el río Magdalena en Colombia, encontrando concentraciones de Cd de hasta 256 mg kg^{-1} , lo cual muestra que este río se encuentra contaminado. Mendoza *et al.* (2012) en su trabajo sobre concentración de Hg, Pb, Cd, Cr y As en hígado de *Carcharhinus limbatus* capturado en la laguna de Tamiahua, la concentración de Cd en hígado fue de 0.43 mg kg^{-1} .

Por su parte, Espinoza (2016) en su estudio de trabajo de bioacumulación y biomagnificación de Cd, Hg y Pb, en *Mustelus henlei* (Gill, 1863) de la costa suroccidental de Baja California Sur. Los resultados presentados en peso húmedo indican que el Cd se bioacumula en menor cantidad ($0.24 \pm 0.17 \mu\text{g g}^{-1}$) en el músculo, a diferencia del hígado ($2.14 \pm 2.4 \mu\text{g g}^{-1}$) en comparación con este trabajo donde Cd bioacumula una concentración mayor en músculo $0.0438 \text{ mg kg}^{-1}$ que en hígado $0.0454 \text{ mg kg}^{-1}$. Al igual que en el trabajo de realizado por (Núñez-Nogueira, 2005), donde Cd en músculo tiene una mayor concentración que en hígado.

Cobre

(Núñez-Nogueira, 2005), presento para Cu mayor concentración en hígado que en músculo, al igual que este trabajo. La presencia de metales pesados en tejido de gónada no ha sido evaluada en las especies de *C. limbatus* o en otra especie de tiburón, por lo que los resultados del presente estudio sientan el precedente de estos metales.

Mendez-Dorante (2017) en su trabajo en la costa central del estado de Veracruz, México, examinaron los intestinos de *C. limbatus*, con el objetivo de identificar las especies de helmintos parásitos. Se recolectaron 15,172 pertenecientes a la clase Cestoda de los cuales las más abundantes fueron *Eutetrarhynchidae* sp. 1, *E.* sp 2, *Nybelinia* sp 1, *N.* sp 2, *Otobothrium insigne*, *Phoreiobothrium* sp1, sp2, sp3, *Anthobothrium laciniatum*, *Thysanocephalum thysanocephalum*, *Rhinebothrium* sp, *Paraorygmatobothrium* sp, *Disculiceps pileatus*. Para este trabajo en la recuperación de parásitos del tiburón *Carcharhinus limbatus* encontramos seis diferentes tipos de céstodos, los cuales por sus características morfológicas y ubicación del hospedero pueden ser del Orden Trypanorhyncha, Orden Onchoproteocephalidea como la especie *Phoreiobothrium* sp. y del Orden Phyllobothriidea como la especie *Paraorygmatobothrium* cf. *sinuspersicense*

Para los céstodos las concentraciones de los metales no fueron detectables por el equipo de espectrofotometría de absorción atómica, lo cual no es indicativo de ausencia de dichos metales, sino de una concentración que es menor a los límites de detección del instrumento utilizado y a su vez menos a los límites máximos permisibles por la normatividad mexicana.

Los tiburones y sus parásitos intestinales como organismos bioindicadores de la salud ecológica del ecosistema en el que habitan son seguros para seguir usándolos como un indicador de contaminación, el analizar los tejidos de los tiburones y céstodos permitió detectar el nivel de contaminación por metales presente en un área determinada y advertir los niveles tóxicos para el consumo humano.

9. CONCLUSIÓN

- Se detectaron 3 contaminantes en tejidos de tiburón Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cobre (Cu)
- Ninguno de los contaminantes rebaso la NOM-242-SSA1-2009
- Para cobre no se realizó una comparación, ya que, en México y normas internacionales no tienen un registro que regule los niveles permisibles de este metal en la biota a pesar del daño que este puede generar.
- El tejido que presento mayor concentración fue el hígado
- No se encontraron concentraciones en cestodos
- El hígado presenta dos a tres veces mayor de concentración por sus características grasas
- Las concentraciones en los tejidos no representan un riesgo para la salud humana sin embargo si hay un riesgo latente si se consume diario
- Los tejidos de tiburón *C. limbatus* pueden ser considerados como bioindicador de contaminación marina
- Los céstodos de nuestro trabajo no pueden ser señalados por la no detección de contaminantes

10. RECOMENDACIÓN

Medir la concentración de metales pesados en el mayor número de órganos y tejidos, esto con la finalidad de conocer los niveles de contaminación en cada uno. Debido a la importancia que tiene esta especie de tiburón dentro de la dieta del humano se recomienda evaluar la concentración de metales pesados de forma periódica a largo plazo. Para conocer los procesos de biomagnificación es importante conocer los hábitos alimenticios de la especie. También conocer las vías de incorporación del metal a través de la alimentación ya que al ser depredador tope tiene mayor bioacumulación de estos metales. Evaluar el nivel en que se encuentra afectada una zona analizar tanto la columna de agua, como los sedimentos y los organismos.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Azad M. y Terry M. (2017). Mercury, arsenic, cadmium and lead in two commercial shark species (*Sphyrna lewini* and *Carcharhinus porosus*) in Trinidad and Tobago. *Marine Pollution Bulletin*, 119: 214–218.
- Batuman V., Maesaka J.K., Haddad B., Tepper E., Landy E. y Wedeen R.P. (1981). The Role of Lead in Gout Nephropathy. *The New England Journal of Medicine*, 304: 520–23.
- Beltrán J., Villasol A., Botello A. y Palacios F. (2005) Condición actual del ambiente marino-costero de la región del Gran Caribe. *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 2da Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 pp.
- Vázquez-Botello y Villanueva. (2004). Distribución de metales pesados en el Golfo de México. Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, 2: 681-706.
- Blas R. (2015) “Biodiversidad de invertebrados asociados al parque nacional sistema arrecifal veracruzano: problemática actual”. *Naucalpan, Estado de México* 2: 2-21
- Carpenter F, y Zajonz 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. 293: 17-27.
- Castañe P., Topalián M., Cordero R., Salibián A. (2003) Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad. *Rev. Toxicol.*, 20: 13-18.
- Castañeda-Chávez., Navarrete-Rodriguez G., Lango-Reynoso., Galaviz-Villa., y Landeros-Sánchez. (2014). Heavy metals in oysters, shrimps and crabs from lagoon systems in the Southern Gulf of Mexico. *Journal of Agricultural Science*, 6:3 108.
- Counter S., Buchanan L.H. y Ortega F. (2012) Association of Hemoglobin Levels and Brainstem Auditory Evoked Responses in Lead-Exposed Children. *Clinical Biochemistry*, 45: 1197–1201.
- CONAPESCA-INP. (2004) Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca e Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Mazatlán, México. 80 p.
- CODEx STAN 193-1995
http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf
- Compagno V. (1984) *Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of sharks species known to date. Part 2. Carcharhiniformes.* FAO Fish. Synop. Rome 4: 251-655.

- Computer generated distribution maps for *Carcharhinus limbatus* (Blacktip shark), with modelled year 2050 native range map based on IPCC RCP8.5 emissions scenario. (2020) RECUPERADO de www.aquamaps.org.
- Claro R. (1994) Características generales de la ictiofauna. Ecología de los peces marinos de Cuba. Instituto de Oceanología Academia de Ciencias de Cuba y Centro de Investigaciones de Quintana Roo. 2: 55-70
- Drago B. (2017). Macroparásitos FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO: editorial Universidad de la Plata. 4: 83-107
- Escobar-Sánchez O., Galván-Magaña y R. Rosiles-Martínez. (2011) Biomagnification of mercury and selenium in blue shark *Prionace glauca* from the Pacific Ocean Mexico. Biological Trace Element Research 144: 550-559.
- Espinoza Garcia Surizaray. (2016). BIOACUMULACIÓN Y BIOMAGNIFICACIÓN DE Cd, Hg Y Pb, EN *Mustelus henlei* (GILL, 1863) DE LA COSTA SUROCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR. CICIMAR.IPN 2: 23-24
- Manuel E., Bendall P., Bolam R. (2016). Concentrations of mercury and other trace elements in porbeagle shark *Lamna nasus*. Marine Pollution Bulletin, 112: 406-410.
- Chacón E., Castro M., Montiel J. (2016). Mercurio en tiburón *Sphyrna lewini* y *Carcharhinus falciformis* del pacífico guatemalteco. Ciencia, Tecnología y Salud, 3: 109-114.
- Fakhar mahdi (2005) Helminthic parasites as heavy metal bioindicators in aquatic ecosystems 34: 56-61
- Frías-Espéricueta., Osuna-López G., Izaguirre-Fierro., Aguilar-Juárez y D. Voltolina. (2010) Cadmio y Plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa. CICIMAR Oceanides, 25(2): 121-134.
- Garces K. (2012) "Evaluación de riesgo ecológico de *Carcharhinus limbatus* (Valenciennes, 1839) en la zona costera de Tamiahua, Veracruz, México"
- García J., Méndez J., Pasaro E. y Laffon B. (2012) Genotoxic effects of lead: An updated review. Environment International, 2(4): 623–636
- Galvan-Magaña. (2014). Los tiburones como bioindicadores de contaminantes y cambios tróficos en ecosistemas marinos. En bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental Mexico: ISNB 375-394.
- Gallagher C. y Meliker J. (2010). Blood and Urine Cadmium, Blood Pressure, and Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis. Environmental Health Perspectives, 118(12): 1676–84.
- Gilbert J., Reichelt-Brushett, Butcher P., McGrath S., Christidis L. (2015). Metal and metalloid concentrations in the tissues of dusky *Carcharhinus obscurus*, sandbar *C. plumbeus* and white

- Carcharodon carcharias* sharks from south-eastern Australian waters, and the implications for human consumption. *Mar Pollut Bull*, 15(1-2): 186-194.
- Gonzalez-Zuñiga C., y Vallarino A. (2014). Los bioindicadores ¿ Una alternativa real para la protección del medio ambiente? In I. N. Climático, *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*. San Cristobal de la Casas, Chiapas, México 2: 21-33
- Hardman J.G., Limbri L.E., Molinoff R., Ruddon, Goodman A. y Gilman G. *The Pharmacological Basis of Therapeutics*. Nueva York (USA): Mc Graw-Hill, 9: 2011, 532
- Henson M. y Chedrese P. (2004). Endocrine Disruption by Cadmium, a Common Environmental Toxicant with Paradoxical Effects on Reproduction. *Experimental Biology and Medicine*, 229(5): 383–92.
- Horta-Puga, G., Cházaro-Olvera, S., Winfield, I., Lozano-Aburto, M.A., Arenas-Fuentes, V. (2016). Heavy metals in macroalgae from the Veracruz Reef System. *Revista Bio Ciencias* 3(4): 326-339.
- Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 2: 696.
- Järup L. y Alfvén T. (2004). Low Level Cadmium Exposure, Renal and Bone Effects--the OSCAR Study. *Biometals*, 17(5): 505–509.
- Jiménez E. (2014). Metales Pesados (Ba, Cu y Hg) en tejidos de *Mugil curema* (Valenciennes, 1836) de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 3: 517-525.
- Julin B., Wolk A., Johansson J.E., Andersson S., Andrén O. y Akesson A. (2012). Dietary Cadmium Exposure and Prostate Cancer Incidence: A Population-Based Prospective Cohort Study. *British Journal of Cancer*, 107: 895-900.
- Lacerda L.D., Martinelli, L.A., Rezende, C.E., Mozeto, A., Ovalle, A.R., Victoria, R.L., Silva, C.A. y Nogueira, F.B. (1988). The Fate of Trace Metals in Suspended Matter in a Mangrove Creek during a Tidal Cycle. *The Science of the Total Environment*, 75: 169– 80.
- Kim S. y Chi C. (2019) Heavy metal accumulation in and food safety of shark meat from Jeju island, Republic of Korea. *PS ONE* 14(3) 2-5
- Rosales-Hez y Celis-Hernández. (2007) "Implicaciones ambientales de los metales pesados en los sedimentos superficiales cerca de Isla de Sacrificios, México", *Bull Environ Contam Toxicol*. 5: 353-357.
- Zamudio-Alemán, Castañeda-Chavez, Lango-Reynoso, Galaviz-Villa, Amaro-Espejo, Romero-González. (2014) Metales pesados en sedimento marino del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Iberoamericana de Ciencias*, 3: 4-6.

- Lanza-Espino, Hernández-Pulido y Carbajal-Pérez. (2011) Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación. Ciencia y Tecnología (TDF), UNAM-IB y PyV, México. 2: 45-56
- Lassiter M., Owens E., Patel M., Kirrane E., Madden M., Richmond-Bryant, Hines E., Davis A., Vinikoor-Imler y Dubois J. (2015). Cross-species coherence in effects and modes of action in support of causality determinations in the U.S. Environmental Protection Agency's Integrated Science Assessment for Lead. *Toxicology*, 330: 19-40.
- Londoño F., Londoño M., y Muñoz G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2):145-153.
- Mendoza-Díaz, Serrano A., Cuervo-López, López-Jiménez, Galindo J. y Basáñez-Muñoz. (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: 821-828.
- Mendez- Dorante. (2017) Helmintos parásitos intestinales de tiburones en la costa central del estado de Veracruz, México. *Ciencia Pesquera* 25(1): 51-61
- MINITAB 18. Versión 10.018362
- Morlán-Cahue y Opengo-Piña. (2005) Determinación de metales (Fe, Mn, Pb, y Zn) en macroalgas clorofitas del Sistema Arrecifal Veracruzano, México 669: 373-388.
- Montoya-Mendoza, J., Alarcón-Reyes, E., Castañeda-Chávez, M., Lango-Reynoso, F., 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.
- Mushak, P. (2011). Lead and Public Health: Science, Risk and Regulation. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=T5HcahQSOACypgis=1>.
- Nachev M. y Sures B. (2016). Environmental parasitology: Parasites as accumulation bioindicators in the marine environment. *Journal of Sea Research*. 113: 45-50.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-117-SSA1-1994, bienes y servicios. 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-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.
- Núñez-Nogueira. (2005) Concentration of essential and non-essential metals in two shark species commonly caught in mexican (Gulf of Mexico) 3: 451-474.
- Overstreet M. (1997) "Parasitological data as monitors of environmental health" Faculty Publications from the Harold W. Manter Laboratory of Parasitology 439.

- Páez-Osuna. (2005a) Efectos de los metales, Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Instituto Nacional de Ecología. 696: 343-360
- Páez-Osuna. (2005b) Fuentes de metales en la zona costera marina. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández. Golfo de México 329-342
- Pérez-Ponce. (2014). Los helmintos parásitos de peces como bioindicadores de la salud de los ecosistemas. En Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental México: ISBN. 254-271.
- Pernía, B., De Sousa, A., Reyes, R. y Castrillo, M. (2008). Biomarcadores de contaminación por cadmio en plantas. *Interciencia*, 33: 112–119
- Poma P. (2008). Lead Effects on Humans. *Anales de La Facultad de Medicina*, 69 (2): 120–126
- Ramírez A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *American College of Occupational and Environmental Medicine* 63(1): 51-64
- Repetto M. y Sanz P. (2012) Toxicología de los metales. En: M. REPETTO. Postgrado en Toxicología (España): Ilustre Colegio oficial de Químicos, 1: 192.
- Reyes C., Vergara I., Torres O., Díaz-Lagos y González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16 (2): 66-77
- Rosales-Hoz y Carranza-Edwards. (2005) Estudio geoquímico de metales en el Estuario del Río Coatzacoalcos. Campeche: Diagnostico y Tendencias. 2: 389-406
- Rodríguez Heredia, Dunia. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*, 21(12): 3372-3385.
- Ross-López. (2000) Determinación de niveles de contaminación por metales pesados en agua y tejido extraído del musculo de Lisa *Mugil* sp (Pisces: Vertebrata) de la Cuenca Baja del Rio Jamapa, Ver. Maestría en Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería: Universidad Veracruzana. Veracruz, México.
- Ruiz J., Fandiño E. Romero y Guevara M. (1996) Contaminación de peces por metales pesados en el río Magdalena. *Licania arborea* 1: 18-22.
- Schwartz G., Il'Yasova D. y Ivanova A. (2003). Urinary Cadmium, Impaired Fasting Glucose, and Diabetes in the NHANES III. *Diabetes Care*, 26 (2): 468–470
- 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*, 5: 6-21.

- Sures B. (2014 a) Accumulation of heavy metals by intestinal helminths an overview and perspective. *Parasitology* 126: S53-S60.
- Sures B. (1999 b). Parasites as Accumulation Indicators of Heavy Metal Pollution. *Parasitology Today* 15: 358-1
- Suwazono Y., Sand S., Vahter M., Filipsson F., Skerfving S., Lidfeldt J. y Åkesson, A. (2006). Benchmark Dose for Cadmium-Induced Renal Effects in Humans. *Environmental Health Perspectives*, 114(7): 1072–1076.
- Tovar-Ávila. (2009) Edad y crecimiento del tiburón puntas negras *Carcharhinus limbatus*, en el Golfo de México 17: 4-5
- Vidal M, (2009). ¿Can parasites really reveal environmental impact? *Cel press* 2: 1471-492
- Whitfeld M., Turner R. y Dickinson G. (1981) Speciation of dissolved constituents in estuaries. In: *River inputs to ocean system, proceedings*. New York. United Nations- 9:132 -188.