



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL

Metales pesados en la población cautiva de *Crocodylus acutus*, *Crocodylus moreletii* y *Caiman crocodilus chiapasius* del Zoológico Miguel Álvarez del Toro (ZooMAT) y el Campamento Tortuguero de Puerto Arista, Chiapas.

**DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

PRESENTA:

**KRISTELL JIMENA ZAPATERO VÁZQUEZ**

TUTORES

CARLOS GUTIÉRREZ OLVERA  
FMVZ, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

JUAN CARLOS RAMÍREZ OREJEL  
FMVZ, UNAM

JOSÉ MANUEL ARANDA COELLO  
COLEGIO DE LA FRONTERA SUR, ECOSUR

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., DICIEMBRE 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Para Ismael, quien siempre ha apoyado mis sueños y me impulsa a crecer para llegar a mis metas*

*Para Norma y Jaime, quienes me han llevado de la mano por la vida y han estado detrás de mí para verme crecer*

*Para Papá Juan, y seguimos adelante*

**Agradecimientos:**

Gracias a mis tutores, el Dr. Carlos Gutiérrez Olvera, el QA. Juan Carlos Ramírez y el Biól. José Manuel Aranda, quienes han estado conmigo en mis progresos académicos y me motivan para mantener la calidad de mi trabajo y mejorar académicamente.

Gracias al personal del Zoológico Miguel Álvarez del Toro y al Campamento Tortuguero de Puerto Arista por enseñarnos y ayudarnos con el manejo de los animales.

## Resumen:

Se sabe que la contaminación por metales pesados es la causa de varias enfermedades a nivel mundial; esta puede tener efectos devastadores en el equilibrio ecológico. Estos elementos pueden interactuar con iones funcionales para el metabolismo inhibiendo así sus funciones. Debido a su alta toxicidad, el Cd, Cr, Hg y Pb son considerados como contaminantes altamente peligrosos y sus límites máximos permisibles en el ambiente y el organismo son mucho menores que en otros metales. Se ha demostrado que los reptiles, después de una absorción dérmica o intestinal de metales pesados, estos son retenidos en tejidos queratinizados, como en escudos y garras, actuando como un mecanismo protector y de excreción. Los objetos de estudio fueron cocodrilos de las especies *Crocodylus moreletii* y *C. acutus* y caimanes *Caiman crocodilus chiapasius* del Zoológico Miguel Álvarez del Toro y del campamento tortuguero de Puerto Arista. El objetivo del estudio fue evaluar si estas especies de cocodrilianos han sido expuestos a concentraciones sobre los límites máximos permisibles (LMP) de mercurio, cromo, cadmio y plomo dentro de las instalaciones. Se tomaron escudos caudales y muestras de sangre de 15 animales en el ZooMAT y 4 del campamento, así como de 50 a 150 ml del agua de los encierros de algunos de estos. La cocina del zoológico proporcionó 100 gramos de pollo y de pescado. Se detectaron tres metales de los cuatro estudiados en las muestras de los animales analizados. En un individuo se encontró presencia de plomo en sangre siendo su concentración de 4.37  $\mu\text{g/ml}$  base húmeda (BH). Cromo fue detectado en los escudos de un animal (N9), teniendo 3.45  $\mu\text{g/g}$  base seca (BS). La mayor concentración de mercurio encontrada fue en el cocodrilo N15, teniendo 8.86  $\mu\text{g/g}$  BS. De las muestras de la dieta se obtuvieron 0.13  $\mu\text{g/g}$  para el pollo y 0.15  $\mu\text{g/g}$  para el pescado, ambos reportados en base seca. Los animales muestreados para este estudio no mostraron signos de intoxicación o afección tanto al tiempo de la toma de muestras o por reporte de sus cuidadores, lo que nos da una idea de la gran capacidad fisiológica y metabólica de control y eliminación de estos animales sobre los metales pesados.

**Abstract:**

Heavy metal pollution is known to cause several diseases worldwide; it can devastate the ecological balance. These elements can interact with functional ions for metabolism, thus inhibiting their functions. Due to their high toxicity, Cd, Cr, Hg, and Pb are considered highly hazardous pollutants. Their maximum permissible limits in the environment and the organism are much lower than other metals. It has been shown that after dermal or intestinal absorption of heavy metals in reptiles, they are retained in keratinized tissues, such as scutes and claws, acting as a protective and excretion mechanism. The objects of study were crocodiles of the *Crocodylus moreletii* and *C. acutus* and caimans *Caiman crocodilus chiapasius* from the Miguel Alvarez del Toro Zoo and the Puerto Arista turtle camp. The study's objective was to evaluate whether these crocodylian species have been exposed to concentrations above the maximum permissible limit of mercury, chromium, cadmium, and lead inside the facilities. Scutes and blood samples were taken from 15 animals at ZooMAT and 4 from the camp. Also, 50 to 150 ml of water from some animals' enclosures. The zoo kitchen provided 100 grams of chicken and fish. Three metals of the four studied were detected in the samples of the animals analyzed. In one individual, the presence of lead was found in blood with a concentration of 4.37 g/ml WM. Chromium was detected in the scutes of one animal (N9), having 3.45 g/g DM. The highest mercury concentration was found in crocodile N15, having 8.86 g/g DM. From the diet samples 0.13 g/g was obtained for chicken and 0.15 g/g for fish, both reported on dry matter. The animals sampled for this study showed no signs of intoxication or illness either at the time of sampling or as reported by their caretakers, which gives us an idea of the great physiological and metabolic capacity of these animals to control and eliminate heavy metals.

**CONTENIDO:**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>HIPÓTESIS</b>	<b>16</b>
<b>OBJETIVO</b>	<b>16</b>
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>16</b>
<b>Área de estudio</b>	<b>16</b>
<b>Recolección de muestras</b>	<b>17</b>
<b>Análisis de metales</b>	<b>21</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>22</b>
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>25</b>
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>27</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>29</b>

**Lista de tablas:**

***Tabla 1. Valores mínimos de detección ..... 22***

***Tabla 2. Concentraciones de metales en escamas, garras y sangre ..... 24***

**Apéndices:**

***Apéndice 1. Concentraciones de metales pesados de diferentes estudios.....34***



**Lista de imágenes:**

<i>Imágenes 1 y 2. Toma de longitud y peso.....</i>	<i>18</i>
<i>Imagen 3. Sitio de venopunción en seno supra-vertebral. (Myburgh et al., 2014).....</i>	<i>19</i>
<i>Imágenes 4 y 5. Toma de muestras de sangre. ....</i>	<i>19</i>
<i>Imágenes 6 y 7. Extracción de escudos caudales. (Norton et al., 2019).....</i>	<i>20</i>
<i>Imágenes 8 y 9. Remoción de escudos caudales. ....</i>	<i>20</i>

## INTRODUCCIÓN

Se sabe que la contaminación por metales pesados es la causa de varias enfermedades a nivel mundial. Los contaminantes que entran en el ambiente crean problemas que causan graves daños a la vida y actividades de los organismos e incluso a la mortalidad masiva de estos. La contaminación por metales pesados puede tener efectos devastadores en el equilibrio ecológico del medio ambiente receptor. Estos metales generalmente entran en al medio ambiente a través de la deposición atmosférica, la erosión de la matriz geológica o debido a actividades antropogénicas. La bioacumulación de estos elementos en los organismos vivos y la biomagnificación en ellos describe los procesos y vías de estos contaminantes de un nivel trófico a otro. El aumento de concentración a través de la cadena alimentaria provoca mayor tiempo de retención de las sustancias tóxicas que por el alimento. En cantidades muy pequeñas muchos de estos metales son necesarios para mantener la vida. Sin embargo, en mayor cantidad se vuelven tóxicos (Nighat, 2009).

De los 90 elementos de la tabla periódica 21 no son considerados metales, 16 son metales ligeros y los 53 restantes son metales pesados, por lo cual se conoce que los metales pesados tienen una densidad superior a  $5\text{g/cm}^3$  y algunos de estos metales, como el zinc (Zn), el hierro (Fe), el níquel (Ni) y el cobre (Cu), son esenciales para el crecimiento y metabolismo celular; mientras que otros, como el mercurio (Hg), el plomo (Pb) y el arsénico (Ar), no tienen ninguna función celular conocida (Nighat, 2009). Siendo así, que los metales de transición son necesarios en concentraciones mínimas o traza y pueden convertirse en tóxicos para la célula cuando superan los niveles fisiológicos; del mismo modo, los iones metálicos, de los cuales no se ha demostrado alguna función fisiológica, pueden ser perjudiciales cuando entran en la célula en concentraciones que superan el límite de tolerancia; una vez que los cationes de metales pesados, especialmente los que tienen un

número atómico elevado, como el Hg, el cadmio (Cd) y la plata (Ag), entran en el interior de la célula, tienden a unirse al grupo tiol (SH) e inhiben la actividad de las enzimas. Otros metales pesados pueden interactuar con iones funcionales para el metabolismo, por ejemplo, el cadmio puede interactuar con el Zn o el calcio (Ca), el Ni y el cobalto (Co) interactúan con el Fe, y el Zn con el magnesio (Mg), inhibiendo así sus funciones (Nighat, 2009).

Entre estas funciones esta la reacción redox, que es aprovechada por la célula para generar centros químicos reactivos con fines fisiológicamente esenciales, pero que puede provocar daño importante a la misma célula (Rainwater et al., 2007). Las especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés) pueden producirse en presencia de Cu, Fe, o cromo (Cr), lo que puede provocar daños en el ADN, las proteínas o los lípidos; los metales redox inactivos, como el Cd, el Hg, el Ni y el Pb, pueden inducir un estrés oxidativo de forma indirecta al desplazar los metales correspondientes de sus sitios de unión celular; existen otros mecanismos de toxicidad, que incluyen la unión a macromoléculas que alteran su conformación, la inactivación por desplazamiento de un metal nativo y la interferencia con la permeabilidad de la membrana (Rainwater et al., 2007).

Se sabe que los iones de metales pesados, como el Cd, el Cr, el Cu, el Pb, el Hg, el Ni, el Se, la Ag y el Zn, son tóxicos y se liberan en el medio ambiente en cantidades que suponen un riesgo para la salud animal; estos metales son venenos metabólicos e inhibidores de enzimas, que pueden llegar a causar daño al sistema nervioso central (Trillanes et al., 2014). Debido a su alta toxicidad, el As, Cd, Cr, Hg y Pb son considerados como contaminantes altamente peligrosos y sus límites máximos permisibles (LMP) en el ambiente y el organismo son mucho menores que en otros metales (Trillanes et al., 2014). Estos metales pueden acumularse en organismos expuestos a ellos a través del tiempo (bioacumulación) y alcanzan concentraciones mayores en estos al subir en la escala trófica (biomagnificación), lo que representa un riesgo para los reguladores de las poblaciones, los depredadores en el tope de la cadena; así como representan un peligro para el ser

humano que coexiste, depende o consume de esta escala trófica (Rainwater et al., 2007).

Los cuerpos acuáticos, son unos de los ecosistemas que más corren peligro de acumulación de metales pesados, debido a que muchos de los desechos agrícolas, domésticos, municipales e industriales son vertidos en estos, causando una acumulación a largo plazo; las fuentes de estos metales pueden ser de origen natural o antropogénico (Leal-Ascencio et al., 2009). Las actividades volcánicas, evaporación de superficies terrestres y acuáticas, degradación de minerales, incendios forestales y erosión de las rocas constituyen fuentes naturales de estos metales (Musalem et al., 2018). También existen varias fuentes de origen antropogénico, como generación de energía y calor a partir del carbón; producción de cemento; uso de lámparas fluorescentes, faros de automóviles, manómetros, termostatos, termómetros y otros instrumentos y su rotura accidental; interruptores eléctricos; amalgamas dentales; incineración de desechos (municipales, médicos y peligrosos); vertederos de basura; crematorios; y minería, que incluye la extracción de Hg como producto principal o subproducto de la extracción de otros metales, como oro, plata o zinc (Musalem et al., 2018).

Se ha visto que, aunque muchos de estos metales se encuentran en un estado libre en los cuerpos de agua, la mayoría forma compuestos con el sedimento, especialmente materia orgánica; este sedimento puede quedar expuesto en la estación seca, sirviendo como cama para diversos animales semiacuáticos (Musalem et al., 2018), y en la época de lluvias, o si el sedimento está permanentemente sumergido, animales acuáticos y semiacuáticos consumen flora que crece en este sedimento o se alimentan de él directamente, acumulando estos metales en sus tejidos y subiéndolos en la cadena trófica (Leal-Ascencio et al., 2009).

La región hidrológica Grijalva – Usumacinta contiene seis cuencas hidrográficas que son: el río Usumacinta, el río Chixoy, el río Lacantún, el río Grijalva – Villahermosa, el río Grijalva – Tuxtla Gutiérrez y el río Grijalva – La Concordia. Los ríos principales son el Grijalva y el Usumacinta, los cuales forman un solo sistema fluvial. El río Grijalva es el segundo más caudaloso del país y el mayor productor de energía eléctrica. Sobre el curso del Grijalva, se han construido cuatro presas: La Angostura “Belisario Domínguez”; Chicoasén “Manuel Moreno Torres”; Malpaso “Nezahualcóyotl”; y Peñitas “Ángel Albino Corzo”. Este río es la principal fuente de agua para el municipio de Tuxtla Gutiérrez (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2007).

Se han encontrado diferentes cantidades de As, Cd, Cr, Mg y Pb en cuerpos de agua del estado Chiapaneco; por ejemplo, en un estudio realizado en el 2009 por Leal-Ascencio y compañía en la laguna El Limón del municipio de Reforma, se encontraron valores de Cr que rebasan también el límite recomendado para la aparición de efectos biológicos severos de la National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) de Estados Unidos y la Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) de Canadá; la concentración máxima de Cr en la laguna fue de 199 mg/kg, cuando el límite de efectos biológicos severos es 110 mg/kg (Leal-Ascencio et al., 2009). En México no se cuenta con normas que establezcan límites máximos permisibles para metales en sedimentos; la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 establece los límites máximo permisibles (LMP) para la calidad del agua para uso y consumo humano (Leal-Ascencio et al., 2009).

En el 2015 se publicó un estudio por Laino-Guanes y compañía, en el cual midieron la concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca del río Grijalva en la frontera México-Guatemala, encontraron que en la época seca tanto Pb como Cd tuvieron valores superiores a los LMP de la norma canadiense (CEQG) pero menores que los de la norma mexicana (NOM-127-SSA1-1994), el Hg tuvo valores superiores para ambas normas y las concentraciones de As se encontraron por

debajo de los límites de ambas normas. En cuanto a los sedimentos, se encontró que el mercurio sobrepasa el LMP de la norma canadiense y de la NOAA pero no así de la mexicana. Arsénico, cromo y cadmio tuvieron concentraciones superiores a los límites máximos permisibles de la NOAA (Laino et al., 2015). En otro estudio, en el 2015, se reportó presencia de mercurio y cadmio en el plasma de *Crocodylus moreletii* en río Hondo, frontera de México-Belice, donde las concentraciones más altas de Hg se relacionaron con animales que vivían en las cercanías de áreas agrícolas (Buenfil-Rojas et al., 2018).

Una de las especies que está al tope de la cadena trófica de los sistemas pluviales de Chiapas es el cocodrilo y el caimán. En México existen tres especies de cocodrilianos, dos del género *Crocodylus*: el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) y el cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*); y una del género *Caiman* (*Caiman crocodilus chiapasius*) (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2020).

El *Crocodylus moreletii* habita en los estados costeros del Golfo de México y parte de Centroamérica; en México se distribuye en península de Yucatán y Chiapas, así como Veracruz, San Luis Potosí hasta Nuevo León. Actualmente, el cocodrilo de pantano se encuentra en las categorías de menor riesgo tanto de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Sujeta a Protección Especial), como de la Lista Roja de la IUCN 2012 (menor preocupación). Por ello, en 2010 la especie se transfirió del Apéndice I al II (menos restrictivo) de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), y en 2012 se eliminó del Acta de Especies en Riesgo de Estados Unidos (ESA); esta especie es usada para la producción de piel, la cual es de alta calidad, y carne de consumo; donde la mayoría de ellos provienen de granjas o Unidades de Manejo de Vida Silvestre (UMA) (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2020).

La otra especie representativa es el *Crocodylus acutus*, que se distribuye desde la costa del Pacífico (Sinaloa a Chiapas) y la península de Yucatán en México, hasta Perú, Venezuela, Florida y el Caribe. Este cocodrilo se encuentra en la categoría de Sujeta a Protección Especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010, como vulnerable en la Lista Roja de la IUCN (2012), en peligro de extinción en la ESA de los Estados Unidos (2007) y en el Apéndice I en México de la CITES (2013) (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2020).

El más pequeño de los cocodrilianos de México es el *Caiman crocodilus chiapasius*, llegando hasta los 2.5 m de longitud, se encuentra distribuido en los estados de Chiapas y Oaxaca, bajando por Centroamérica hasta el amazonas brasileño. Este reptil se encuentra en la categoría de Sujeta a Protección Especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010, como de Menor Preocupación en la Lista Roja de la IUCN (2016) y en el Apéndice I de la CITES (2013); estas especies desarrollan parte de sus actividades sobre las orillas o plataformas de sedimento de los ríos, así mismo, se alimentan de diferentes especies como caracoles, cangrejos, ranas, pequeñas tortugas, aves, mamíferos y peces e insectos en sus etapas juveniles (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2020).

En los vertebrados, los metales pesados son absorbidos por el sistema digestivo, aunque la mayor parte no será absorbida y será excretada por las heces; lo absorbido será distribuido por la sangre a riñones o hígado donde será eliminado por orina o heces a través de la unión de estos metales con proteínas (Schneider et al., 2013), aunque también se ha visto cierta eliminación por medio de las yemas de los huevos (Selcer, 2016). Estas proteínas, las metalotioneínas (MT) juegan un papel importante en el proceso de destoxificación de Hg en los cocodrilos (Hidalgo et al., 2009), ya que, en un estudio, las concentraciones de metalotioneínas fueron 3000 veces y 1200 veces más altas en el plasma que las concentraciones en el hígado y los riñones (Buenfil-Rojas et al., 2018). Algunos estudios han observado

que la edad y el tamaño son proporcionales a las concentraciones de estos metales para las especies longevas, como los cocodrilos (Buenfil-Rojas et al., 2018).

Se ha observado que la vida media de las MT en el hígado y los riñones es muy corta, mientras que en los eritrocitos la vida media de las metalotioneínas depende directamente de la vida de los propios eritrocitos. Por lo tanto, cuando los eritrocitos terminan su vida, se descomponen en el bazo y el hígado y los complejos metal-MT se liberan a los riñones para su excreción (Buenfil-Rojas et al., 2020). Hay que tener en cuenta que la vida media de los eritrocitos en los cocodrilos (600-800 días) es mayor que en los mamíferos (120 días aproximadamente) por lo que los complejos metal-MT en los eritrocitos de los cocodrilos pueden permanecer en el torrente sanguíneo más tiempo hasta la descomposición de los eritrocitos (Buenfil-Rojas et al., 2018).

En el mismo estudio, se encontró una relación entre el Hg en los escudos dermales y las MTs en el plasma, lo que sugiere que la acumulación de Hg en este tejido podría estar relacionada con la respuesta de las metalotioneínas, ya que se ha observado que la acumulación de metales pesados en los escudos caudales está relacionada con la respuesta al estrés oxidativo. Los tejidos queratinizados son también una de las principales estrategias de desintoxicación de Hg y otros metales en los cocodrilos, especialmente cuando la dieta no es la única fuente de contaminación (Buenfil-Rojas et al., 2018). Por lo que se considera que los escudos dermales y otros tejidos queratinizados, como garras, son una excelente opción, no invasiva, para la evaluación a la exposición crónica a metales pesados de estos ejemplares, sin embargo, para una evaluación a una exposición aguda sigue siendo necesaria la toma de muestras sanguíneas (Lázaro et al., 2015).

Como puede observarse en los diferentes estudios, hay presencia de metales pesados en las aguas, sedimento y fauna de las cuencas hídricas de Chiapas, encontrándose entre estas la Reserva del Zapotal, la cual suministra agua para los



encierros e instalaciones del Zoológico Miguel Álvarez del Toro (ZOOMAT); además diferentes puertos, pueblos y ciudades costeras o cerca de cuerpos de agua, como es el caso de los animales que llegan al campamento tortuguero de Puerto Arista, lo que lleva a la pregunta de si estos animales están siendo reservorios de estos agentes metálicos.

## **HIPÓTESIS**

Existen concentraciones cuantificables de los metales pesados mercurio, cromo, cadmio y plomo en las escamas, garras y sangre de cocodrilos (*Crocodylus moreletii* y *Crocodylus acutus* y caimanes *Caiman crocodilus chiapasius*) del Zoológico Miguel Álvarez del Toro y del campamento tortuguero de Puerto Arista.

## **OBJETIVO**

Evaluar si estas tres especies de cocodrilianos han sido expuestas a concentraciones mayores de los LMP de mercurio, cromo, cadmio y plomo dentro de las instalaciones del Zoológico Miguel Álvarez del Toro o en el campamento tortuguero.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### *Área de estudio*

#### *Zoológico Miguel Álvarez del Toro (ZOOMAT)*

Esta institución se encuentra en la reserva “El Zapotal”, dentro del municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Cuenta con 140 hectáreas de superficie (Fernández Moreno et al., 2010). El zoológico se encuentra rodeado por dos poblaciones, la

colonia Rivera Cerro Hueco y el ejido Francisco I. Madero, donde las aguas residuales eran vertidas hacia los cuerpos de agua de la reserva, además de haber contado con actividades de deforestación para la construcción de viviendas (Carlos, 2013).

#### *Campamento Tortuguero de Puerto Arista*

Este campamento fue establecido en 1991 en Puerto Arista en el municipio de Pijijiapan, Chiapas. Se encarga de recolectar y recibir huevos de tortugas que llegan a anidar en las costas del estado. Así mismo recibe y rescata crocodilos de las especies *C. acutus* y *C. moreletti* y caimanes de la especie *Caiman cocodrilus chiapasius* que se encuentran en o cerca de zonas habitadas, para su relocalización (Secretaría del Medio Ambiente e Historia Natural, n.d.).

#### *Recolección de muestras*

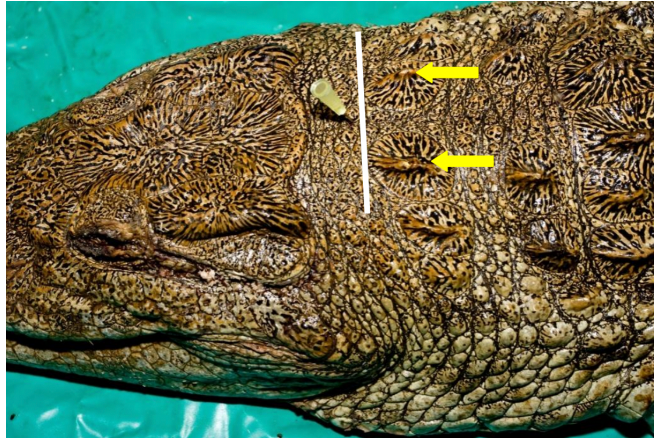
Se tomaron escudos caudales y muestras de sangre de 15 animales en el ZOOMAT, así como de 50 a 150 mL del agua de los encierros de algunos de estos y muestras de alimento de la dieta (100 g). Los cocodrilos fueron capturados por el personal del zoológico. Se determinó la longitud total (LT), el peso y el sexo de cada animal (Imágenes 1 y 2). La sangre se obtuvo del seno venoso supra-vertebral (Imagen 3) (Myburgh et al., 2014), previa asepsia de la zona con yodopovidona y alcohol etílico al 70%, tomando de 1 a 2 mL, y se almacenó en tubos con heparina de litio y fueron guardados en una hielera con paquetes de gel congelados (Imágenes 4 y 5). Para los escudos caudales se limpió la zona con el mismo protocolo que para la toma de sangre; con un bisturí, se retiró la zona más distal del escudo caudal, donde este se conectaba con los otros (Imágenes 6-9) (Norton et al., 2019), y se colocaron en bolsas de plástico etiquetadas. Se aplicaron toques de yodo en los lugares de extracción para evitar posibles infecciones. Fue necesario recolectar dos muestras de garras en vez de escudos caudales, ya que estos animales estaban previamente marcados; estas muestras fueron tomadas con corte de tijera de la punta de las garras que tuvieran la mayor longitud. El agua fue recolectada directamente de las

piscinas de los encierros con botellas de plástico estériles. La cocina del zoológico proporcionó 100 g de pollo y de pescado, los cuales eran parte de la dieta en ese momento de los animales. Las muestras se mantuvieron en hielo hasta su llegada al laboratorio, donde se conservaron en congelación a  $-4^{\circ}\text{C}$  (alimento) y refrigeración a  $2^{\circ}\text{C}$  (sangre, escudos y agua) hasta su análisis (Buenfil-Rojas et al., 2018).

Para el estudio, el personal del campamento tortuguero de Puerto Arista entregaron un escudo caudal y tres muestras de sangre; cumpliendo con los mismos procedimientos y transporte usados para los animales del ZooMAT.



**Imágenes 1 y 2. Toma de longitud y peso.**



**Imagen 3. Sitio de venopunción en seno supra-vertebral. (Myburgh et al., 2014)**



**Imágenes 4 y 5. Toma de muestras de sangre.**



**Imágenes 6 y 7. Extracción de escudos caudales. (Norton et al., 2019)**



**Imágenes 8 y 9. Remoción de escudos caudales.**

### *Análisis de metales pesados*

Las muestras fueron descongeladas o temperadas a temperatura ambiente y fueron pesadas en básculas o medidas con pipetas volumétricas, tomando 1 ml para la sangre, 10 o 15 mL para el agua, 1 g para escudos y alimento, todas estas por duplicado y en el alimento por triplicado; en caso de algunos escudos, garras y una muestra de sangre no fue posible obtener muestras del peso o volumen deseado, por lo que no se pudo hacer duplicado de estas. Los escudos y alimento fueron picados finamente. Todas las muestras se colocaron en tubos de ensayo.

La digestión ácida se realizó añadiendo 2 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) concentrado a cada tubo y colocándolas a baño maría sobre una placa térmica a 70-90°C, durante 2-3 días. Las muestras en las que el ácido por sí solo no eliminó toda la materia orgánica se les colocó 1 mL de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Una vez que se alcanzó un color amarillo claro en las muestras, estas se dejaron enfriar y se filtraron con papel de filtro nº1 en matraces aforados de 25 ml y se llevaron a volumen con agua desionizada. Las soluciones obtenidas se colocaron en botellas de plástico de 50 mL previamente marcadas (Buenfil-Rojas et al., 2018).

Para el uso del espectroscopio de absorción atómica se realizaron curvas de calibración con reactivos estandarizados para cada elemento, con soluciones que se prepararon con concentraciones conocidas del elemento elegido (Tabla 1) (The Perkin-Elmer Corporation, 1996). Las muestras se analizaron para plomo, cadmio y cromo con sus respectivas lámparas de cátodo hueco y el mercurio fue analizado con un espectrofotómetro de absorción atómica con generador de hidruros.

**Tabla 1. Valores mínimos de detección**

Metal	Rango lineal	Límite de detección
Cadmio	0 – 2 ppm	0.4 ppm
Cromo	0 – 5 ppm	1 ppm
Mercurio	0 – 140 ppb	20 ppb
Plomo	0 – 20 ppm	4 ppm

## RESULTADOS

De los 19 especímenes muestreados, 15 eran cocodrilos cautivos en el ZooMat y 4 del campamento tortuguero de Puerto Arista, Chiapas. De estos 19 animales, 12 fueron *Crocodylus acutus*, 4 *C. moreletti* y 3 *Caiman cocodrilus chiapasius*; de estos, 6 se identificaron como machos, 12 hembras y un animal juvenil sin sexar. El peso de los reptiles del Zoológico Miguel Álvarez del Toro varió de los 3 hasta los 40.6 kg. Los individuos del campamento tortuguero de Puerto Arista no pudieron ser pesados por falta de equipo en las instalaciones. Se obtuvo la longitud de los 19 animales, yendo de los 97cm a los 3.25 m (Tabla 2).

Se detectaron tres metales de los cuatro estudiados en las muestras de los animales analizados. Cromo fue detectado en los escudos de un animal (N9), teniendo 3.45  $\mu\text{g/g}$  de concentración en base seca (BS); este animal no presentó concentraciones medibles de este elemento en sangre. En los demás animales no fue encontrado este elemento en escudos o en sangre. En un individuo (N19) se encontró presencia de plomo en sangre siendo su concentración de 4.37  $\mu\text{g/mL}$  (Tabla 2) de muestra en base húmeda (BH), pero no en sus escudos, en los demás animales no fue encontrado tanto en sangre como en escudos.

De mercurio se encontraron concentraciones medibles en casi todas las muestras de escamas o garras, a excepción de los ejemplares N10 y N12. La mayor

concentración encontrada fue en el cocodrilo N15, teniendo 8.86  $\mu\text{g/g}$  BS (Tabla 2); los resultados obtenidos para escudos y garras se tomaron en base húmeda y fueron transformados a base seca de acuerdo con la constante 3.8 (Trillanes et al., 2014). En sangre, así mismo, se encontraron concentraciones en casi todos los ejemplares, mostradas en base húmeda, menos en los animales N 4, 6, 7, 9, 10, 12, 14 y 19, siendo la medición más alta del animal N5 con 0.13  $\mu\text{g/mL}$  BH (Tabla 2). De las muestras de la dieta, pollo y pescado, se obtuvieron 0.13  $\mu\text{g/g}$  para el pollo y 0.15  $\mu\text{g/g}$  para el pescado, ambos reportados en base seca (Tabla 2) (Miriam, 2010)

Tanto Pb como Cr estuvieron ausentes en las muestras de alimento y agua de los encierros de acuerdo con los puntos más bajos de sus curvas. No se encontraron concentraciones medibles de Cd en ninguna muestra.



**Tabla 2. Concentraciones de metales en escamas, garras y sangre**

N	Sexo	Especie	Ubicación	Peso (Kg)	Longitud (m)	Escamas/Garras				Sangre			
						µgCd/g***	µgPb/g***	µgHg/g***	µgCr/g***	µgCd/mL	µgPb/mL	µgHg/mL	µgCr/mL
1	H	C. acutus	ZooMAT	32.4	2.01	0	0	0.32	0	0	0	0.11	0
2	M	C. acutus	ZooMAT	33.5	2.01	0	0	0.89	0	0	0	0.03	0
3	M	C. acutus	ZooMAT	35.0	2.03	0	0	0.15	0	0	0	0.05	0
*4	H	C. acutus	ZooMAT	32.0	1.99	0	0	0.13	0	0	0	0	0
*5	H	C. moreletti	ZooMAT	13.9	1.52	0	0	0.13	0	0	0	0.13	0
6	H	C. moreletti	ZooMAT	16.1	1.51	0	0	0.12	0	0	0	0	0
7	H	C. acutus	ZooMAT	40.0	2.09	0	0	0.73	0	0	0	0	0
8	H	C. acutus	ZooMAT	40.6	2.11	0	0	0.28	0	0	0	0.05	0
9	H	C. acutus	ZooMAT	24.3	1.76	0	0	0.17	3.45	0	0	0	0
10	H	C. moreletti	ZooMAT	15.0	1.54	0	0	0	0	0	0	0	0
11	M	C. moreletti	ZooMAT	39.0	2.00	0	0	0.19	0	0	0	0.05	0
12	H	C. acutus	ZooMAT	33.4	1.95	0	0	0	0	0	0	0	0
13	H	C. acutus	ZooMAT	30.0	1.99	0	0	0.30	0	0	0	0.03	0
14	M	C. crocodilus	ZooMAT	20.3	1.57	0	0	0.03	0	0	0	0	0
15	ND	C. acutus	ZooMAT	3.0	0.97	0	0	8.86	0	0	0	0.11	0
16	M	C. acutus	Puerto Arista	-	3.25	0	0	0.22	0	-	-	-	-
17	M	C. crocodilus	Puerto Arista	-	1.54	-	-	-	-	0	0	0.03	0
18	H	C. crocodilus	Puerto Arista	-	1.32	-	-	-	-	0	0	0.07	0
19	H	C. acutus	Puerto Arista	-	1.43	-	-	-	-	0	4.37	0	0

\*A estos animales no fue posible recolectar escudos caudales debido a que estos ya estaban previamente marcados.

\*\*Los valores en 0 no indican la ausencia total del elemento en la muestra, si no que están debajo de los límites de detección.

\*\*\* Valores indicados en Base Seca

µgCd, µgPb, µgHg y µgCr indican microgramos por gramo o mililitro del elemento abreviado.

## DISCUSIÓN

Las concentraciones de Cr, Pb y Hg encontradas en los ejemplares de *C. acutus*, *C. moreletti* y *Caiman crocodilus chiapasius* tanto de la población del ZooMAT como del campamento tortuguero de Puerto Arista fueron comparadas con diferentes resultados, tanto de las mismas como de diferentes especies, de alrededor del mundo (Apéndice 1).

De los dos grupos de cocodrilianos estudiados, hubo una concentración medible de cromo, la cual fue en una hembra de *C. acutus* del Zoológico Miguel Álvarez del Toro, siendo la única de su población. Debido a esto, se puede suponer que este animal consumió cantidades de este elemento en un manejo o transporte, pudiendo haber mordido el aro de una red o alguna tubería del encierro; sin embargo, esta exposición pudo haber ocurrido en una sola ocasión o durante un tiempo corto, ya que solamente se muestra en los escudos caudales recolectados y no así en sangre, pudiendo haber ocurrido la exposición semanas o meses atrás. Se han realizado estudios que involucran al Cr como elemento de interés en diferentes tejidos de los cocodrilos, pero este no ha tenido concentraciones medibles. Comparando un anterior estudio de Cedillo-Leal et al. (2018) (Apéndice 1), se encontró cromo a 5 µg/g en los escudos caudales de tres hembras; así mismo, se midieron metales pesados en los nidos de estas, encontrando Pb (25.79 – 29.28 mg/kg), Cd (5.22 +/- 4.65 mg/kg) y Cr (14.28 – 10.51 mg/kg), observándose que los huevos viables eclosionaron y produjeron crías sin afecciones aparentes; tampoco se encontró algún problema de salud en las hembras adultas (Cedillo-Leal et al., 2018). En este estudio se obtuvo una concentración de 3.45 µg/g en base seca de los escudos caudales del sujeto N9, estando por debajo de las cantidades medidas por Cedillo-Leal et al. (2018) y estando dentro del rango de las concentraciones en hígado de un estudio en Florida en *Alligator mississippiensis* (Apéndice 1) (Campbell et al., 2010).

El único ejemplar que presentó plomo en alguna de las muestras fue una hembra de *C. acutus* de Puerto Arista, presentándolo en sangre. En comparación con el estudio en cocodrilos del Nilo (*Crocodylus niloticus*) de Sudáfrica (Apéndice 1), los cuales tuvieron concentraciones de 0.08 +/- 0.07 ug/ml BH para hembras y 0.98 +/- 2.17 ug/ml BH para machos (Warner et al., 2016); se puede observar que la hembra de *C. acutus* de este estudio tuvo concentraciones mayores (4.37 ug/ml BH) que los del estudio mencionado. Debido a que este animal llevaba aproximadamente una semana de ser llevado al campamento para su relocalización, se cree que esta exposición fue aguda, con posible procedencia de embarcaciones y actividades pesqueras, ya sea por consumo de fauna expuesta o por contacto directo con residuos; sin embargo, no se puede descartar una exposición a largo plazo, ya que no se pudieron recolectar escudos caudales de este animal.

Del metal del que se obtuvieron una mayor cantidad de mediciones positivas fue el mercurio, debido a que se pudo hacer uso de un espectroscopio con cámara de hidruros, pudiendo obtener una mayor sensibilidad en las mediciones. Entre estas muestras resalta el ejemplar N15, el cual es un juvenil sin sexar de *C. acutus* del ZooMAT. En equiparación con los caimanes de Louisiana en Estados Unidos (Apéndice 1) (Moore, 2004), el ejemplar de este estudio tuvo más de doce veces la cantidad por gramo de escudo en base seca que esos animales, pero no así con el estudio de Trillanes et al (2014), donde este juvenil (8.86 µg/g BS) estuvo dentro del rango de concentraciones obtenidas en este estudio (5.4 +/- 8.3 ug/g BS). Este animal fue rescatado de una fosa séptica y relocalizado al zoológico, lo cual podría explicar la cantidad elevada de Hg en sus escudos; así como la menor cantidad de muestra tomada debido al menor tamaño y peso del animal. Esta cantidad de mercurio en los tejidos habla de una exposición crónica, por lo que supone que este animal nació o fue llevado a la fosa a muy corta edad. En sangre, el *C. moreletti* asignado con el número 5, fue el ejemplar que presentó mayor concentración de mercurio en su sangre (0.13 µg/ml BH), la cual está bastante por debajo de lo

reportado por Moore (2004) (Apéndice 1); esta concentración se pudo deber, así como en los animales N1 y N15 ( $0.11\mu\text{g/ml}$  BH), a las cantidades medias de Hg en su alimento.

Al momento del muestreo, se recolectaron muestras de la dieta de los ejemplares, siendo éstas pollo (piezas variadas) y pescado (piezas variadas de tilapia). En las mediciones de Pb, Cd y Cr no se obtuvieron concentraciones medibles de estos metales, sin embargo, gracias a la mayor sensibilidad del equipo utilizado para medir Hg, se obtuvieron  $0.13\mu\text{g/g}$  BS para el pollo y  $0.15\mu\text{g/g}$  BS en el pescado, lo que podría explicar las cantidades medibles de este metal en sangre y tejidos queratinizados de los animales, estando presentes de forma aguda en sangre y crónica en tejidos. Las concentraciones de las muestras de alimento están por debajo de lo establecido en la NOM-242-SSA1-2009, la cual establece como límite máximo  $0.5\text{ mg/kg}$  para el pescado fresco.

Los animales muestreados para este estudio no mostraron signos de intoxicación o afección tanto al tiempo de la toma de muestras o por reporte de sus cuidadores, lo que nos da una idea de la gran capacidad fisiológica y metabólica de control y eliminación de estos animales sobre los metales pesados (Britta & Schiesari, 2010).

## **CONCLUSIONES**

De los animales muestreados para este estudio, que mostraron cantidades elevadas de los diferentes metales pesados analizados, se pudo observar que estas mediciones tuvieron su origen del lugar de procedencia de los ejemplares, como fosas sépticas o puertos pesqueros; hablándonos del impacto de las actividades humanas sobre el hábitat de donde provienen los ejemplares.

No se puede negar la importancia de los cocodrilianos en el ecosistema, en su lugar como máximo depredador en sus cadenas tróficas y su manejo fisiológico de los

metales pesados, por lo que se considera que estos animales deben seguirse usando como centinelas de la contaminación de sus medios ambientes (Nilsen et al., 2019). Es necesario realizar estudios más profundos y elaborados, involucrando diversas poblaciones cautivas y de vida libre en mayor número, así como comparar diferentes tejidos, más allá de sangre y escamas para ver la relación entre estos y su posible fuente, la cual es esencial de identificar, ya que, si estos animales muestran concentraciones en sus tejidos, esto señala que en el ambiente hay concentraciones de estos metales suficientes como para subir en la cadena alimenticia, siendo excelentes bioindicadores de la contaminación en su hábitat (Buenfil-Rojas et al., 2022); y, al final, acumulándose en productos pesqueros y agrícolas que ponen en riesgo a las poblaciones humanas que viven en estos lugares.

## REFERENCIAS

- Britta, G., & Schiesari, L. (2010). 12 - The Ecotoxicology of Metals in Reptiles. In D.W. Sparling, G. Linder, C.A. Bishop, & S. Krest (Eds.), *Ecotoxicology of Amphibians and Reptiles (Second Edition)* (pp. 337-448) CRC Press. <https://doi.org/10.1201/EBK1420064162-c12>
- Buenfil-Rojas, A. M., Alvarez-Legorreta, T., Cedeño-Vazquez, J. R., Rendón-von Osten, J., & González-Jáuregui, M. (2020). Distribution of metals in tissues of captive and wild Morelet's crocodiles and the potential of metallothioneins in blood fractions as a biomarker of metal exposure. *Chemosphere*, 244, 125551. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125551>
- Buenfil-Rojas, A. M., Alvarez-Legorreta, T., & Cedeño-Vázquez, J. R. (2018). Mercury and metallothioneins in blood fractions and tissues of captive Morelet's crocodiles in Quintana Roo, Mexico. *Chemosphere*, 199, 630-636. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.111>
- Buenfil-Rojas, A. M., Alvarez-Legorreta, T., González-Jáuregui, M., Rendón-von Osten, J., & Cedeño-Vázquez, J. R. (2022). Effectiveness of Morelet's crocodile as a bioindicator of metal pollution and metallothionein response to spatial variations of metal exposure. *Environmental Advances*, 8, 100251. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100251>
- Campbell, J. W., Waters, M. N., Tarter, A., & Jackson, J. (2010). Heavy metal and selenium concentrations in liver tissue from wild American alligator (*Alligator mississippiensis*) livers near Charleston, South Carolina. *Journal of Wildlife Diseases*, 46(4), 1234-1241. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-46.4.1234>
- Cedillo-Leal, C. N., Cienfuegos-Rivas, E., & Escobedo-Galván, A. H. (2018). HIGH LEVELS OF HEAVY METALS IN SCUTES AND EGGS OF MORELET'S CROCODILES (*CROCODYLUS MORELETII*) FROM NORTHEAST MEXICO. *The Southwestern Naturalist*, 63(1), 71-74.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2013). *Cocodrilos Mexicanos*. Distrito Federal: Gobierno de Mexico Tomado de [https://www.gob.mx/conabio/prensa/cocodrilos-mexicanos?idiom=es#:~:text=De%20las%2023%20especies%20de,el%20c](https://www.gob.mx/conabio/prensa/cocodrilos-mexicanos?idiom=es#:~:text=De%20las%2023%20especies%20de,el%20caim%C3%A1n%20(Caiman%20crocodilus).)  
[aim%C3%A1n%20\(Caiman%20crocodilus\)](https://www.gob.mx/conabio/prensa/cocodrilos-mexicanos?idiom=es#:~:text=De%20las%2023%20especies%20de,el%20c).
- Fernández Moreno, Y., Tuñón Pablos, E., Porter Bolland, L., Kauffer Michel, E. F., & Vázquez García, V. (2010). *Percepciones ambientales sobre una Reserva Ecológica Urbana, El Zapotal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. El Colegio de la Frontera Sur.
- Hidalgo, J., Chung, R., Penkowa, M., & Vašák, M. (2009). 10 Structure and Function of Vertebrate Metallothioneins. In *Metallothioneins and Related Chelators: Metal Ions in Life Sciences* (Vol. 5, pp. 279-317). The Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781847559531-00279>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2007). *La cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta*. Distrito Federal: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales Tomado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/402/cuencas.html#:~:text=L%20cuenca%20del%20Grijalva%20Usumacinta%20se%20localiza%20en%20el%20sureste,el%204.7%25%20del%20territorio%20nacional>.
- Laino, R., Bello-Mendoza, R., González-Espinosa, M., Marcial, N., Jiménez, F., & Musalem, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y ciencias del agua*, VI, 61-74.
- Lázaro, W. L., de Oliveira, R. F., dos Santos-Filho, M., da Silva, C. J., Malm, O., Ignacio Á, R., & Díez, S. (2015). Non-lethal sampling for mercury evaluation in crocodylians. *Chemosphere*, 138, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.007>
- Leal-Ascencio, M., Miranda, S., Otazo-Sánchez, E., García, F., & Martínez, A. (2009). METALS POLLUTION IN EL LIMON LAGOON, CHIAPAS, MEXICO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 415-421.

- Moore, L. A. (2004). *Distribution of mercury in the American alligator (Alligator mississippiensis), and mercury concentrations in the species across its range* [University of Georgia].
- Morales, C. (2013). *Programa de manejo del centro ecológico recreativo “El Zapotal”*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México: Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural. Tomado de [https://sistemaestatalambiental.chiapas.gob.mx/siseiach/descargas/pm\\_anp/PROGRAMA\\_DE\\_MANEJO\\_EL\\_ZAPOTAL.pdf](https://sistemaestatalambiental.chiapas.gob.mx/siseiach/descargas/pm_anp/PROGRAMA_DE_MANEJO_EL_ZAPOTAL.pdf)
- Muñoz, M. (2010). Composición de los Alimentos. In (2nd ed., pp. 413). Mexico: Mc-Graw-Hill.
- Musalem, K., Laino, R., Bello-Mendoza, R., González-Espinosa, M., & Marcial, N. (2018). Water quality of the Grijalva River on the Chiapas - Tabasco border. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5, 55-64.
- Myburgh, J. G., Kirberger, R. M., Steyl, J. C., Soley, J. T., Booyse, D. G., Huchzermeyer, F. W., . . . Guillette, L. J., Jr. (2014). The post-occipital spinal venous sinus of the Nile crocodile *Crocodylus niloticus*: its anatomy and use for blood sample collection and intravenous infusions. *Journal of the South African Veterinary Association*, 85(1), e1-e10. <https://doi.org/10.4102/jsava.v85i1.965>
- Nighat, R. (2009). *Isolation and Characterization of Cadmium Metallothionein Gene from Local Ciliates* (Publication Number 729S) University of the Punjab Quaid-e-Azam Campus]. Pakistan. <http://pr.hec.gov.pk/jspui/handle/123456789/1086>
- Nilsen, F. M., Bowden, J. A., Rainwater, T. R., Brunell, A. M., Kassim, B. L., Wilkinson, P. M., . . . Schock, T. B. (2019). Examining toxic trace element exposure in American alligators. *Environment International*, 128, 324-334. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.035>
- 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., (2009).



- Norton, T. M., Andrews, K. M., & Smith, L. L. (2019). 175 - Working With Free-Ranging Amphibians and Reptiles. In S. J. Divers & S. J. Stahl (Eds.), *Mader's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery (Third Edition)* (pp. 1366-1381.e1363). W.B. Saunders. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-48253-0.00175-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-48253-0.00175-6)
- Rainwater, T. R., Wu, T. H., Finger, A. G., Cañas, J. E., Yu, L., Reynolds, K. D., . . . McMurry, S. T. (2007). Metals and organochlorine pesticides in caudal scutes of crocodiles from Belize and Costa Rica. *Science of the Total Environment*, 373(1), 146-156. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.11.010>
- Schneider, L., Maher, W., Green, A., & Vogt, R. (2013). Mercury Contamination in Reptiles: An Emerging Problem with Consequences for Wild Life And Human Health. In K. H. Kim & R. J. C. Brown (Eds.), *Mercury: Sources, Applications and Health Impacts*. (pp. 173-232). Nova Sciences Publishers.
- Secretaria del Medio Ambiente e Historia Natural. *Tortuga marina. "Protección y Conservación de la Tortuga Marina en Chiapas*. Chiapas, Mexico: Gobierno del Estado de Chiapas Tomado de [https://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/danvs/proyecto\\_tortuga#:~:text=La%20protecci%C3%B3n%20de%20la%20tortuga,20%20de%20mayo%20de%201990](https://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/danvs/proyecto_tortuga#:~:text=La%20protecci%C3%B3n%20de%20la%20tortuga,20%20de%20mayo%20de%201990).
- Selcer, K. (2016). Reptile ecotoxicology: Studying the effects of contaminants on populations. In S. C. M. Gardner & E. Oberdorster (Eds.), *Toxicology of Reptiles* (pp. 267-297). CRC Press.
- The Perkin-Elmer Corporation. (1996). Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy In (4th ed., pp. 300). United States of America: The Perkin-Elmer Corporation.
- Trillanes, C., Pérez-Jiménez, J., Rosiles-Martínez, R., & González Jáuregui, M. (2014). Metals in the Caudal Scutes of Morelet's Crocodile (*Crocodylus moreletii*) from the Southern Gulf of Mexico. *Bulletin of environmental*

*contamination and toxicology*, 93. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1349-8>

- Warner, J. K., Combrink, X., Myburgh, J. G., & Downs, C. T. (2016). Blood lead concentrations in free-ranging Nile crocodiles (*Crocodylus niloticus*) from South Africa. *Ecotoxicology*, 25(5), 950-958. <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1652-8>

## APÉNDICES

**Apéndice 1. Concentraciones de metales pesados de diferentes estudios**

Especie	Ubicación	N	Tipo de muestra	µgCr/g ó ml	µgPb/g ó ml	µgHg/g ó ml	Referencia
<i>Alligator mississippiensis</i>	Florida, EUA	33	Hígado	5.66 +/- 2.8	8.15 +/- 3.5	5.68 +/- 1.4	(Campbell et al., 2010)
<i>Crocodylus niloticus</i>	Sudáfrica	34	Sangre		0.08 +/- 0.07 H 0.98 +/- 2.17 M <u>BH**</u>		(Warner et al., 2016)
<i>Alligator mississippiensis</i>	Lousiana, EUA	27	Escudos caudales			0.52 +/- 0.21 <u>BS**</u>	(Moore, 2004)
			Sangre			121.74 +/- 22.07 <u>BH**</u>	
<i>C. moreletti</i>	Campeche, México	92	Escudos caudales			5.4 +/- 8.3 <u>BS**</u>	(Trillanes et al., 2014)
<i>C. moreletti</i>	Tamaulipas, México	3	Escudos caudales	5			(Cedillo-Leal et al., 2018)
<i>C. moreletti</i> , <i>C. acutus</i> y <i>Caiman crocodilus chiapasius</i>	Chiapas, México	19	Escudos caudales	3.45 <u>BS**</u>		0.9 +/- 2.09 <u>BS**</u> 8.86* <u>BS**</u>	Este estudio
			Sangre		4.37 <u>BH**</u>	0.03 +/- 0.04 <u>BH**</u> 0.13 <u>BH***</u>	
*Animal (N15) con mayor cantidad (µg/g) de Hg en escudos caudales							
**Las cantidades señaladas están reportadas en sus estudios como Base Seca (BS) o Base Húmeda (BH), los demás estudios no lo reportan							
*** Animal N5 con mayor cantidad (µg/ml) de Hg en sangre							