



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

BIOACUMULACIÓN DE METALES EN EL
COCODRILO DE PANTANO *Crocodylus moreletii*
(CROCODYLIA: CROCODYLIDAE)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

DIANA HERNÁNDEZ GONZÁLEZ



DIRECTOR DE TESIS:
DR. CARLOS GONZÁLEZ REBELES ISLAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX
2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno
Hernández
González
Diana
55 41 85 43 08
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
310170695
2. Datos del tutor
Dr.
Carlos
González Rebeles
Islas
3. Datos del sinodal 1
Dr.
Carlos Jesús
Balderas
Valdivia
4. Datos del sinodal 2
Dra.
Sandra Luz
Gómez
Arroyo
5. Datos del sinodal 3
Dr.
Raúl
Ulloa
Arvizu
6. Datos del sinodal 4
Dr.
Alejandro
Villegas
Castillo
7. Datos del trabajo escrito
Bioacumulación de metales en el cocodrilo de pantano *Crocodylus moreletii* (Crocodylia:
Crocodylidae)
58 p.
2019

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Carlos González Rebeles Islas, por haberme dado la oportunidad de trabajar bajo su tutela y siempre estar dispuesto a ayudarme. Gracias por todos los consejos, paciencia y tiempo dedicado.

Al M. en C. René Rosiles Martínez por aceptar asesorarme en el análisis de mis muestras y brindarme su apoyo en el laboratorio.

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IN222017 “Hibridación y genética de poblaciones del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) y el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) en México”. Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida.

Agradezco a mis sinodales por aceptar revisar mi trabajo, dedicarle tiempo además de sus consejos y observaciones para mejorarlo.

Al Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM por permitirme hacer uso de sus instalaciones para analizar mis muestras.

A la MVZ Mercedes López Van Scoit y al MVZ Iván Domínguez Rosas por ser mis guías en el laboratorio.

A la Dirección General de Cooperación e Internacionalización de la UNAM por darme la oportunidad de representar a nuestra Universidad y a México en el Programa de Movilidad Estudiantil Internacional en La Trobe University, Australia.

Finalmente, a la Escuela Nacional Preparatoria Plantel No. 6 “Antonio Caso”, a la Facultad de Ciencias y a la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme todas las herramientas y conocimiento posible para enfrentarme al mundo íntegramente como profesionalista. *Por mi raza hablará el espíritu.*

DEDICATORIA

A mi mamá, Lupita, siempre me apoyaste, me guiaste cuando tuve dudas e inquietudes, me alentaste a seguir mis sueños y me apapachaste cuando lo necesitaba. Eres un ejemplo de persona que aspiro ser cuando crezca. Gracias por mantener a nuestra familia unida.

A mi papá, Omar, por traerme a este mundo y enseñarme a hacer lo correcto, por estar a mi lado, compartir tu sabiduría y experiencias de vida conmigo. Gracias por nunca rendirte y por haber sacado a toda nuestra familia adelante. Espero que mamá y tú estén orgullosos de mí.

A mi hermana, Mariana, espero que sepas que siempre te voy a apoyar y amar. Eres la persona más importante para mí.

A mi futura sobrina, deseo ser un ejemplo en tu vida y decirte que, con esta familia, nunca estarás sola. ¡Bienvenida!

A mis primos: Larissa, Eli, Luis, Mafers, Isabella y Daniela, siempre estaré ahí para ustedes. Esfuércense en todo lo que hagan y confíen en que siempre estaremos juntos.

A mis tíos y tías: Toño, Tere, Paco, Saraí, Claudia, Ben, Rocío y Luis, por sus enseñanzas, consejos y experiencias vividas juntos.

A mis abuelitas, Marissa y Vicky, por amarme, consentirme y tener siempre un buen consejo que darme. Gracias por ser los pilares de esta familia.

A Mariana Garibay por la amistad que compartimos desde la secundaria y que espero que sigamos teniendo por muchos más años.

A Jonathan por haber aparecido en mi vida y amarme tal y como soy. Espero seguir compartiendo mi vida a tu lado.

“But *now*,” says the Once-ler,
“Now that *you’re* here,
the word of the Lorax seems perfectly clear.

**UNLESS someone like you
Cares a whole awful lot,
nothing is going to get better.
It’s not.**

“SO...
Catch!” calls the Once-ler.
He lets something fall.
“It’s a Truffula Seed.
It’s the last one of all!
You’re in charge of the last of the Truffula Seeds.
And Truffula Trees are what everyone needs.
Plant a new Truffula. Treat it with care.
Give it clean water. And feed it fresh air.
Grow a forest. Protect it from axes that hack.
Then the Lorax
and all his friends
may come back.”

The Lorax – Dr. Seuss (1971)



CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
HIPÓTESIS.....	4
OBJETIVOS.....	4
ANTECEDENTES.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
RESULTADOS.....	19
DISCUSIÓN.....	32
CONCLUSIONES.....	45
LITERATURA CITADA.....	47
ANEXOS.....	54

RESUMEN

La contaminación de metales pesados puede ser dañina en saurópsidos aún en bajas concentraciones. También los minerales esenciales pueden ser tóxicos en cantidades altas. El biomonitoreo es una técnica de la toxicología que permite estudiar el impacto que tiene la contaminación y se basa en la sensibilidad de un organismo, denominado biomonitor, a la exposición de un contaminante. En este estudio se evaluó la acumulación de metales en las escamas caudales del cocodrilo de pantano bajo la premisa de que la contaminación del lago de Catemaco por actividades antropogénicas causará que los cocodrilos presenten contaminantes. También se evaluó la presencia de metales en cinco especies de presas potenciales para determinar si había bioacumulación de metales en la cadena trófica. Se muestrearon escamas caudales de 23 cocodrilos de pantano (*Crocodylus moreletii*), 4 especies de peces y una especie endémica de molusco en el Lago de Catemaco. Después, las muestras se analizaron con la técnica de espectrofotometría atómica y se cuantificaron las concentraciones de As, Cd y Hg para el caso de metales pesados y Ca, Zn, Cu, Fe, Mg, K y Na para los minerales esenciales. Es importante resaltar que este estudio es el primero en reportar la presencia de metales pesados en muestras de *Crocodylus moreletii* y sus presas, además de describir presencia y cantidades exactas de minerales esenciales. En general, no se encontraron relaciones significativas entre la existencia de metales y el tipo de vida (cautiverio y vida libre), sexo y tamaño de los cocodrilos. Se observó que los cocodrilos pequeños presentaron mayor concentración de metales que los animales grandes. Los niveles cuantificados con presas sugieren que existe bioacumulación de metales pesados en la cadena alimenticia del Lago de Catemaco, Veracruz. Este estudio puede brindar bases para futuros estudios con la especie o para fines comparativos con otros cocodrilianos.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las poblaciones de saurópsidos a nivel mundial se encuentran amenazadas debido a la alteración y destrucción del hábitat, tráfico ilegal, especies introducidas, calentamiento global y contaminación, esta última identificada como uno de los mayores peligros a nivel mundial (Gibbons et al., 2000; Smith et al., 2007; Vitt y Caldwell, 2009; Schneider et al., 2013; Ettling y Schmidt, 2015; Stanton et al., 2015). En todo el mundo los metales pesados en los sistemas acuáticos significan una gran preocupación que se ha incrementado en los últimos años (Campbell et al., 2010). Además, estos metales se pueden bioacumular en diferentes niveles de la cadena trófica, especialmente en los eslabones más altos (Campbell et al., 2010).

El biomonitoreo es una técnica de la toxicología que permite estudiar el impacto que tiene la contaminación en los organismos y se basa en la sensibilidad de un organismo llamado biomonitor la exposición de un contaminante (Córdoba, 2006; Tellez y Merchant, 2015). La acumulación de contaminantes en seres vivos es conocida como bioacumulación y se presenta cuando la tasa de ingesta excede la capacidad del organismo de eliminar dicha sustancia de su cuerpo (Newberger, 2014). El potencial de exposición a muchos contaminantes difiere entre herbívoros, omnívoros y carnívoros debido a que los contaminantes se transportan de manera diferente dentro de las redes tróficas (Smith et al., 2007).

La ingesta de alimento contaminado es la fuente principal de exposición en saurópsidos (Hopkins, 2006; Smith et al., 2007). Contaminantes como los metales usualmente forman parte del suelo o el sedimento y al pasar el tiempo son consumidos por organismos que los transfieren a niveles superiores de la red trófica en los que los

contaminantes usualmente se presentan en mayores concentraciones, proceso conocido como biomagnificación (Smith et al., 2007).

El Lago de Catemaco ubicado en el estado de Veracruz es considerado como un sistema con altos niveles de nutrientes pero también de contaminación, sobre todo coliformes fecales, sulfuro de hidrógeno, materia orgánica y aguas residuales provenientes de las ciudades cercanas, además de fertilizantes y metales originados de la agricultura (Soto y Gama, 1997; Calderón et al., 2001). Estos desechos usualmente se establecen en los hábitats de *Crocodylus moreletii*, provocando más exposición a los contaminantes y propiciando que los cocodrilos bioacumulen estos metales (Heaton-Jones et al., 1997; Trillanes, 2013).

El aumento de las actividades humanas afecta inevitablemente los ecosistemas y la fauna que en ellos habita (Trillanes, 2013). Es por esto que la posibilidad de evaluar el estado de un ecosistema utilizando organismos biomonitores como cocodrilos adquiere importancia, pues pueden contribuir al biomonitoreo constante del lago y de las propias poblaciones de cocodrilos a largo plazo (Jeffrey et al., 2005; Trillanes, 2013; Newberger, 2014). Los cocodrilos como recurso en México han sido explotados desde hace más de un siglo, pero no son completamente conocidos por lo que se necesitan acciones urgentes para su conservación y uso sostenible (Casas-Andreu, 1995). Por ejemplo, existe aprovechamiento de *C. moreletii* para consumo humano, lo cual requerirá de la evaluación de los metales en los organismos (Trillanes, 2013). Con el presente estudio se pretende evaluar la presencia o ausencia así como la presentación de metales en individuos de *C. moreletii* además de evaluar si se registra algún tipo de patrón de bioacumulación en el Lago de Catemaco, Veracruz, México.

HIPÓTESIS

Si existe contaminación en el lago de Catemaco se encontrará evidencia de ésta en los cocodrilos.

OBJETIVO GENERAL

Determinar si hay presencia de metales en escamas caudales del cocodrilo de pantano *Crocodylus moreletii*.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Establecer la concentración de los metales encontrados en las escamas caudales.
- Establecer si existen diferencias significativas entre sexo, tamaño y sitios de muestreo entre las escamas caudales de *C. moreletii*.
- Evaluar la presencia de metales en especies de peses y un molusco que forman parte de la dieta de *C. moreletii*.

ANTECEDENTES

Situación actual del Lago de Catemaco

El Lago de Catemaco se ubica en el Macizo Volcánico de Los Tuxtlas en el Municipio de Catemaco al sureste del estado de Veracruz (Soto y Gama, 1997; Seba, 2009). Se encuentra limitado por las coordenadas extremas 18° 21' y 18° 27' de latitud septentrional y 95° 01' y 95° 07' de longitud occidental a 332 metros sobre el nivel del mar (Calderón et al., 2001; Seba, 2009). El Lago es parte de la cuenca del Río Papaloapan y tiene una profundidad media de 7.5 metros y máxima de 22 metros (Seba, 2009). Recibe agua del Río Quetzalapan y los arroyos Agrio, La Margarita, Ahuacapan, Pozolapan y Cuetzalapan, así como mantos freáticos cercanos a la superficie y de la precipitación pluvial (Soto y Gama, 1997; Seba, 2009; Sigler y Gallegos, 2017). Al noreste del Lago se ubica un afluente artificial conocido como Río Grande de Catemaco que desemboca en el Río Papaloapan (Seba, 2009).

El Río Grande drena el lago hacia el Golfo de México, controlando su nivel de agua con una compuerta (Pérez-Rojas y Torres-Orozco, 1992). Gran porcentaje de los terrenos adyacentes ha sido deforestado y se utilizan como potreros o zonas agricultoras (Pérez-Rojas y Torres-Orozco, 1992). Los suelos de la zona, así como el origen del lago, son volcánicos, y ricos en nutrientes inorgánicos. Las principales actividades económicas son el turismo que se concentra en la ciudad de Catemaco, la agricultura de maíz, frijol, arroz, sandía, naranja, plátano y mango, la ganadería de ganado bovino, porcino, ovino, caprino y aves de corral y la pesca (Pérez-Rojas y Torres-Orozco, 1992).

El Lago alberga más de 15 especies comerciales de peces y las principales en ser aprovechadas por los pescadores son la tilapia (*Oreochromis aureus* y *O. niloticus*), una

sardina de agua dulce conocida comúnmente como topote (*Dorosoma mexicana o petenense*) y un caracol llamado tegogolo (*Pomacea patula catemacensis*) (Pérez-Rojas y Torres-Orozco, 1992; Seba, 2009). La pesca de las especies comerciales se lleva a cabo con atarraya y en embarcaciones que pueden ser lanchas o pangas típicas de la localidad construidas de madera y fibra de vidrio (Lorán-Núñez et al. 2013).

Cocodrilo de pantano

Los cocodrilos cumplen funciones importantes en los ecosistemas y son considerados como especies claves (Sánchez-Herrera et al., 2011). En el mundo existen 23 especies que pertenecen a la familia Crocodylidae, de las cuales 13 están bajo la categoría de Amenazadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (por sus siglas en inglés The IUCN Red List of Threatened Species; Cedeño-Vázquez et al., 2006; Booyens, 2011). En México se distribuyen de manera natural dos especies de esta familia, *Crocodylus moreletii* y *C. acutus* (Platt et al., 2010).

El cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) se localiza en la vertiente del Golfo de México, la Península de Yucatán, Belice y Guatemala (Platt et al., 2010; Sánchez-Herrera et al., 2011). El área ocupada por la especie en los tres países es de aproximadamente 450 000 km² y en México se tiene el 88% de esta superficie (Sigler y Gallegos, 2017; Figura 1). Se considera que en México, la Laguna Madre, Tamaulipas y las zonas áridas que la rodean son el límite norte de la distribución de *C. moreletii* mientras que el límite sur se encuentra en los ríos Lacantum y Chajulillo en Chiapas y el Río Hondo en la Península de Yucatán (Sigler y Gallegos, 2017).



Figura 1. ● Área de distribución de *Crocodylus moreletii* en México, Guatemala y Belice. Tomada de Sigler y Gallegos (2017).

El cocodrilo de pantano se caracteriza por tener un cráneo robusto considerado ancho largo con respecto a *C. acutus*. Los caracteres más notables (sin considerar poblaciones híbridas) son la posición horizontal de la sutura maxilar-premaxilar con respecto al plan ventro-longitudinal del cuerpo, filas de escamas subcaudales en la región basal de la cola intercaladas con escamas irregulares y un promedio de seis escamas nucales (Ross y Ross, 1974; Álvarez del Toro y Sigler, 2001; Sánchez-Herrera et al., 2011; Sigler y Gallegos, 2017). Como en otros *Crocodylidae*, el cuarto diente mandibular está expuesto a los lados de la maxila (Sigler y Gallegos, 2017). Presentan osteodermos ligeramente quillados en el dorso y ausentes en el vientre (Platt et al., 2010). La especie habita en una variedad de sitios como arroyos, ríos de curso lento y rápido, lagunas, lagos, pantanos, marismas, cenotes, esteros, estanques, cuerpos de agua artificiales y canales (Platt et al.,

2010; Sigler y Gallegos, 2017). La altitud promedio donde se encuentra la especie es menor a los 500 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas promedio anuales entre 26 y 28°C y precipitaciones entre 600 y 4000 mm (Sigler y Gallegos, 2017).

La Norma Oficial Mexicana NOM-059 lista a la especie bajo la categoría de “Sujeta a Protección Especial” (Pr) pues éstas podrían llegar a encontrarse amenazadas por diversos factores, como los antes mencionados, y determinan la necesidad de impulsar su recuperación y conservación (SEMARNAT, 2010). También se encuentra en los Apéndices I (poblaciones de Guatemala) y II (poblaciones de México y Belice) de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES por sus siglas en inglés). Los *Crocodylidae* de México se encuentran en el Apéndice II y las poblaciones silvestres no pueden ser comercializadas. En 2006, Guatemala, Belice y México establecieron una serie de proyectos para contribuir con la conservación de *Crocodylus moreletii*. El principal fue desarrollar una estrategia para controlar el tráfico ilegal entre fronteras, unificar y estandarizar los métodos y tecnologías para su estudio y promover un plan de manejo, aprovechamiento y exportación de productos derivados de la especie (Platt et al., 2010; Sánchez-Herrera et al., 2011).

En México, las principales amenazas a las que se enfrenta esta especie son la fragmentación del hábitat y la contaminación ambiental. La fragmentación se ha dado por diversas causas como la destrucción de hábitat, cambio de uso de tierra, construcción de caminos, desarrollos turísticos y explotación de campos petroleros (Villegas y Reynoso, 2013). Asimismo, la fragmentación y aislamiento de poblaciones de cocodrilos puede provocar una reducción en el flujo génico y promover la endogamia (Villegas y Reynoso, 2013).

Biomonitoreo y biomonitores

Los organismos biomonitores son aquellos capaces de acumular altos niveles de contaminantes sin llegar a la mortalidad, tener forma de vida sésil o con migración corta dentro del área de estudio, tener una amplia distribución, ser longevos, fáciles de muestrear, estar presentes en el ambiente durante todo el año, tener hábitos de alimentación simples, soportar una amplia gama de condiciones climáticas y ambientales, debe haber un buen conocimiento de la historia de vida y biología, los patrones de acumulación deben reflejarse en otras especies del área de estudio, preferiblemente tener importancia comercial y económica (Smith et al., 2007; Schardt, 2008; Zhou et al., 2008; Booyens, 2011; Páez-Osuna y Osuna-Martínez, 2011; Newberger, 2014; Tellez y Merchant, 2015). Su uso es muy importante para comparar la distribución de metales pesados entre poblaciones, ubicaciones geográficas o en una escala temporal (Tellez y Merchant, 2015).

Los cocodrilos son ideales biomonitores pues además de cumplir con las características mencionadas previamente, son fáciles de identificar y tienen tasas metabólicas y demandas energéticas bajas lo que hace que los contaminantes que absorben permanezcan más tiempo en sus sistemas a lo largo de su vida, aunque no siempre reflejen significativamente la alteración ambiental en sus sistemas debido a la resistencia que tienen a ellos (Jeffrey et al., 2005; Xu et al., 2006; Rainwater et al., 2007; Smith et al., 2007; Schardt, 2008; Booyens, 2011; Guillory et al., 2011; Newberger, 2014; Tellez y Merchant, 2015).

Los metales son contaminantes que afectan ecosistemas acuáticos y terrestres (Buenfil, 2014) y pueden ser clasificados en dos tipos: primero, los metales pesados o minerales no esenciales, los cuales no son necesarios para realizar funciones biológicas en

los organismos (Trillanes, 2013); segundo, los metales fisiológicos, los cuales son necesarios para llevar a cabo procesos biológicos, pero pueden generar reacciones tóxicas si su concentración en el organismo es excesiva (Buenfil, 2014). La contaminación por metales pesados ha incrementado en los últimos 50 años (Schneider et al., 2013; Buenfil, 2014) y constituyen una fuente importante pues no son biodegradables, son altamente tóxicos y tienen efectos negativos en la salud de la biota (Capó, 2007; Buenfil, 2014). La exposición de los reptiles a los metales puede ser por ingesta (accidental o voluntaria), contacto directo, inhalación, transferencia materna e incluso del medio en el que anidan (Smith et al., 2007; Schneider et al., 2013; Buenfil, 2014). El incremento de contaminación representa una amenaza para la flora y fauna afectada pues la composición de los sistemas acuáticos cambia (Calderón et al., 2001; Rainwater et al., 2007; Campbell et al., 2010; Moreno, 2014; Newberger, 2014; Tellez y Merchant, 2015).

Los principales trabajos que se han realizado evaluando la presencia de metales pesados en *Crocodylus moreletii* así como en *C. acutus* fue el de Rainwater et al. (2007), quienes evaluaron las escamas caudales de ambas especies en Belice (*C. moreletii*) y Costa Rica (*C. acutus*) y encontraron que las escamas contenían diversos contaminantes como metales y pesticidas. El metal más encontrado fue el mercurio (Hg) mientras que otros metales detectados incluían el cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y cinc (Zn). Estos metales fueron encontrados en ambas especies en diferentes concentraciones. Rainwater et al. (2007) demostraron que el uso de escamas caudales como un método de colecta de muestras no letal fue eficaz. También evidenciaron que el proceso de bioacumulación de contaminantes ocurre en estas especies y sugirieron que la presencia de dichos

contaminantes en las muestras podría provenir del sedimento o de la biota asociada a los sistemas acuáticos que funcionan como hábitat para los cocodrilos (Rainwater et al., 2007).

Por otro lado, el estudio realizado por Newberger (2014) se enfocó en la acumulación de metales en las escamas caudales de *C. acutus*. Encontró 16 metales diferentes pero los que presentaban mayor concentración eran el aluminio (Al), Zn, Cu y estaño (Sn), asimismo, las concentraciones de los metales variaban dependiendo del sexo, tamaño, ubicación geográfica y proximidad a las fuentes de los contaminantes. En este caso, mencionan que el consumo de diferentes presas y la exposición que éstas tengan a los contaminantes tienen un efecto directo en la concentración de metales que se encuentran en las escamas. También menciona que la asimilación de los contaminantes difiere entre sexos pues para las hembras es posible excretar algunos de estos contaminantes a través de los huevos (Hopkins et al., 2006; Newberger, 2014).

En los trabajos de Rainwater et al. (2007) así como en el de Grillitsch y Schiesari (2010) se destaca que los metales de mayor preocupación para los saurópsidos son el Cd, Hg, Pb, Zn y Cu. Los primeros tres metales son considerados como elementos tóxicos que incluso a bajas concentraciones pueden generar daños al organismo. Por otro lado, el Zn y el Cu son elementos esenciales o metales fisiológicos y son considerados necesarios para el correcto funcionamiento del organismo, sin embargo, éstos son tóxicos si se encuentran a altas concentraciones (Buenfil, 2014). A pesar de que algunos contaminantes pueden ser excretados a través de la orina, heces, piel y huevos, debido al metabolismo lento, los cocodrilos con exposición constante a contaminantes presentan concentraciones altas de metales (Newberger, 2014). Por lo anterior, es importante determinar los metales que se encuentran en el ambiente además de las concentraciones en los organismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de muestras

Para la toma de muestras se obtuvo el permiso de colecta ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) con oficio N° SGPA/DGVS/003063/18. Asimismo, se solicitó el permiso a los dueños de la Reserva Ecológica de Nanciyaga para el muestreo ejemplares en cautiverio y a los *dueños* de la comunidad ejidal Las Margaritas para el muestreo de ejemplares en vida libre.

Se utilizaron escamas caudales para determinar la presencia de metales y sus concentraciones para cocodrilos en vida libre y cautiverio. La remoción de escamas caudales es un procedimiento de marcaje y muestreo no letal que no afecta al organismo (Newberger, 2014).

Las primeras 12 muestras de escamas caudales fueron donadas por el Laboratorio de Vertebrados de la Facultad de Ciencias y fueron colectadas previamente en otras salidas al Lago de Catemaco. Las muestras estaban almacenadas en refrigeración a 4°C y conservadas en etanol al 70%. Las muestras que fueron colectadas durante la salida a campo realizada en abril del 2018 fueron de individuos en cautiverio de la Reserva Ecológica de Nanciyaga. Se llevaron a cabo búsquedas en los canales y alrededores de la comunidad de Las Margaritas utilizando el método de detección visual nocturna el cual se describe a detalle en Sánchez-Herrera et al. (2011). A pesar de realizar búsquedas exhaustivas no se encontraron ejemplares de vida libre en 2018. Los sitios de muestreo se señalan en la Figura 3. Los individuos vida libre tienen diversos sitios de muestreo mientras que los de cautiverio se colectaron en la Reserva Ecológica de Nanciyaga.

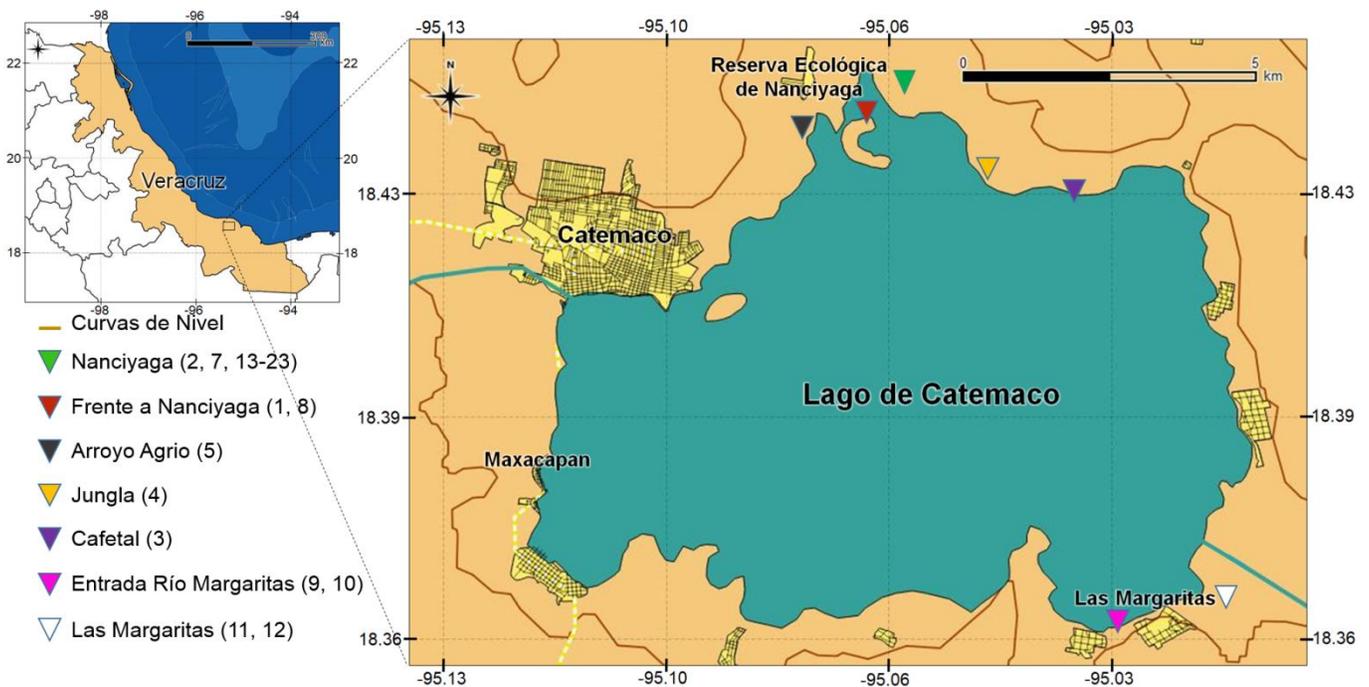


Figura 3. Mapa señalando todos los sitios de muestreo de *Crocodylus moreletii*.

Las capturas de los individuos se realizaron con base principalmente en el método de marcaje y recaptura descrito por Sánchez-Herrera et al. (2011). Las capturas se realizaron con la mano o una pértiga dependiendo del tamaño de cada individuo. Para individuos mayores de 1.20 metros de longitud se utilizaron herramientas de apoyo como lazos, cuerdas, lazos de acero de varios calibres y resistencia, entre otras para mayor seguridad. La secuencia de acciones para una captura consistieron en: localizar al cocodrilo, determinar el tamaño aproximado para elegir la técnica de captura apropiada al tamaño, aproximarse sigilosamente al ejemplar con la pértiga lista, capturar al ejemplar colocando el lazo alrededor del cuello, someter y contener al ejemplar con cinta adhesiva en la mandíbula, marcación, toma de datos y muestras para una oportuna liberación.

Al inmovilizar al ejemplar se determinó el sexo del ejemplar por palpación cloacal y se tomaron datos morfométricos de longitud total, longitud hocico-cloaca, longitud total del cráneo, anchura mayor del cráneo, anchura entre las protuberancias maxilares, distancia inter-orbital y peso. Las clases de tamaño (referidas a la medida desde la punta del hocico a la punta de la cola de cada ejemplar) se establecen de la siguiente manera: cría (menor a 0.5 m); juvenil (0.51 a 1.0 m); sub-adulto (1.01 m a 1.5 m); adulto (1.51 a 2.0 m); y adulto grande (más de 2.01 m) (Sánchez-Herrera et al., 2011).

Para observar el proceso de transferencia trófica y biomagnificación se tomaron muestras de especies que potencialmente forman parte de la dieta de *Crocodylus moreletii* en vida libre. Se colectaron tres individuos de cuatro especies de peces para un total de 12 peces: *Bramocharax caballeroi* (pepesca), *Cichlasoma fenestratum* (conchero), *Dorosoma mexicana* (topote) y *Mayaheros urophthalmus* (chogoma). Asimismo, se muestreó un caracol endémico *Pomacea patula catemacensis* (tegotolo). Todos los individuos de peces fueron comprados en el mercado local de Catemaco y los caracoles fueron colectados y obtenidos de la comunidad de las Margaritas. En el caso del topote, los individuos se conservaron enteros y para el resto de los peces se realizaron cortes (Figura 3) en la parte posterior del individuo delante de la cola de tal forma que se tuviera piel, tejido musculoso, órganos y huesos. Los tegogolos se conservaron sin la concha. Para transportarlos al laboratorio se guardaron en frascos de plástico previamente lavado con etanol al 100% con formol (CH₂O) al 37% y a temperatura ambiente.

De los cocodrilos se aprovecharon las escamas caudales utilizadas para el marcaje de individuos en caso de que no estuvieran previamente identificados. En caso de que ya contaran con una marca, se procedió a tomar una escama caudal que no interfiriera con

dicha marca. Era sumamente importante que las muestras no se contaminaran con la de otro ejemplar por lo que la navaja utilizada para realizar los cortes se limpiaba con alcohol antes de realizar un nuevo corte. Cada muestra obtenida se colocó en un recipiente de plástico previamente lavado con etanol al 100% y debidamente identificado (Sánchez-Herrera et al., 2011; Trillanes, 2013). Para obtener una lectura confiable en el laboratorio se trató de que cada muestra colectada pesara por lo menos 500 mg (Trillanes, 2013). Hasta el momento de análisis, las muestras se conservaron en alcohol al 70% y se transportaron en una hielera hasta llegar al laboratorio, donde se resguardaron en un refrigerador a 4°C (Burger et al., 2000; Rainwater et al., 2007; Trillanes, 2013; Buenfil, 2014; Moreno, 2014; Newberger, 2014; Trillanes et al., 2014).



Figura 3. Ejemplo de la sección en la que se realizaron los cortes para las muestras finales de los peces.

Tratamiento de muestras

El procesamiento de muestras fue adaptado de los trabajos de Trillanes (2013), Buenfil (2014) y Trillanes et al. (2014) y fue el mismo para las escamas y para las muestras de tejido de peces y caracoles. Primero se lavaron las muestras con agua bidestilada y desmineralizada. Una vez terminado este proceso, se transfirieron 500 mg de tejido de las muestras a una estufa eléctrica a 75°C por al menos 24 horas para deshidratarlas. Una vez transcurrido el tiempo, se cortaron en pequeños pedazos con hojas nuevas de bisturí para cada muestra y se colocaron en tubos de ensayos individuales. Los tubos se colocaron en baño maría con 0.5 mL de agua desionizada y se colocaron 2.5 mL de ácido nítrico (HNO₃) puro gradualmente, evitando que la reacción del ácido con las muestras las proyectara fuera del tubo. Durante el baño maría no se permitió que las muestras hiervan para evitar pérdidas de elementos volátiles. Las muestras permanecieron en el baño maría hasta que no hubiera material sólido en el tubo y que éste fuera transparente. Terminado el proceso de digestión se filtraron con papel filtro grueso y se llevarán a un aforo de 14 mL con agua desmineralizada. Debido a que durante el muestreo se capturaron crías y juveniles, la cantidad de muestra obtenida no alcanzaba el peso deseado de 500 mg así que se colectó la mayor cantidad posible y las muestras por debajo de esta masa se aforaron a 7 mL con agua desmineralizada. Cada muestra se colocó en un frasco de plástico lavado con agua desmineralizada y luego enjuagados con ácido clorhídrico al 1.5 % para eliminar cualquier rastro de jabón o contaminante. Finalmente se etiquetaron hasta el momento de realizar las lecturas.

Lectura de metales

La determinación de los metales fue posible gracias al apoyo técnico y logístico del Laboratorio de Bromatología II de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se realizaron las lecturas de As, Cd, Hg (metales pesados) y de Ca, Zn, Cu, Fe, Mg, K y Na (minerales esenciales). También se leyó Pb y Ni pero ninguno de éstos dos estuvieron presentes en ninguna muestra.

El análisis se llevó a cabo usando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con flama y generación de hidruros. La calibración del equipo (Perkin-Elmer, modelo Analyst-100 con flama de aire-acetileno) se realizó con los requerimientos específicos para la lectura de cada elemento como lo es la lámpara específica de cátodo hueco, apertura espectral y longitud de onda. La concentración de cada elemento se obtuvo transformando la absorbancia de cada muestra, la cual debía de estar dentro de la curva de calibración, en una regresión lineal. La concentración final se obtuvo multiplicando la concentración estimada de la absorbancia por el volumen de aforo, y dividiendo entre el peso de la muestra. Los resultados se reportan en microgramos del elemento por gramo de muestra ($\mu\text{g/g}$).

Análisis Estadísticos

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de todos los metales tanto en cocodrilos como en presas en los que se obtuvo el mínimo, primer cuartil, segundo cuartil (mediana), tercer cuartil, máximo, promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para determinar si se usaba una prueba paramétrica o no paramétrica se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas. Las muestras no

cumplieron con los supuestos de homocedasticidad. Para evaluar diferencias entre las concentraciones de metales en las categorías de sexo, tamaño y localidad se utilizó la prueba Wilcoxon-Mann Whitney. Los cocodrilos muestreados se dividieron para realizar los análisis en tres categorías: individuos de vida libre (n=12) y de cautiverio (n=11), machos (n=10) y hembras (n=12) en donde una observación fue eliminada pues fue un individuo juvenil que no pudo ser sexado, y en individuos pequeños (n=12), que incluyen crías y juveniles, y en grandes (n=11), que incluyen sub-adultos, adultos y adultos grandes. Todos los análisis se realizaron en el programa Statdisk 11 (TriolaStats). Para este trabajo, se consideró que la prueba era significativa cuando $p < 0.05$.

RESULTADOS

Cocodrilos

De los metales pesados, ninguna muestra detectó la presencia de níquel y plomo. El Cuadro 1 presenta las estadísticas descriptivas de arsénico, cadmio, mercurio y el Cuadro 2 presenta las de calcio, cinc, cobre, hierro, magnesio, potasio y sodio. Las concentraciones de las muestras de escamas de cocodrilos se pueden encontrar en el Anexo 1.

Cuadro 1. Estadística descriptiva de metales pesados en escamas de cocodrilos.

	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Hg</i>
<i>Mínimo</i>	10.15	0	0
<i>1er Cuartil</i>	47.6	0	0.02
<i>2do Cuartil</i>	262.13	5.5	0.13
<i>3er Cuartil</i>	521.9	7.24	178
<i>Máximo</i>	1198.14	54.97	2069.87
<i>Coefficiente de Variación %</i>	106.64	162.96	234.52
<i>Promedio</i>	316.65	9.71	208.24
<i>Desviación Estándar</i>	337.69	15.83	488.36

Concentraciones expresadas en ng/g.

Cuadro 2. Estadística descriptiva de minerales esenciales en escamas de cocodrilos.

	<i>Ca</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mg</i>	<i>K</i>	<i>Na</i>
<i>Mínimo</i>	121.47	8.71	0	13.04	34.1	112.87	16.98
<i>1er Cuartil</i>	310.04	20.25	135.28	30.04	137.31	296.33	24.67
<i>2do Cuartil</i>	921.8	32.91	383.93	51.13	237.86	752.79	110.19
<i>3er Cuartil</i>	3334.76	50.14	1318.7	153.6	368.16	2066.16	198.82
<i>Máximo</i>	12685.58	278.84	5706.96	3486.66	1403.49	4737.68	608.77
<i>Coefficiente Variación %</i>	134.27	118.85	130.92	255.8	96.58	96.83	101.28
<i>Promedio</i>	2866.06	57.96	1104.46	291.37	328.74	1237.66	144.77
<i>Desviación Estándar</i>	3848.25	68.88	1445.93	745.31	317.5	1198.39	146.62

Concentraciones expresadas en µg/g

Metales Pesados

Arsénico

El 100% (n=23) de las muestras tuvo presencia de este metal. Al comparar las concentraciones entre individuos de vida libre y cautiverio se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = -0.985$, $p > 0.05$). Al comparar las concentraciones entre machos y hembras se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = -0.132$, $p > 0.05$). Y al comparar las concentraciones entre individuos pequeños y grandes se encontró que había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 4.062$, $p < 0.05$; Cuadro 3).

Cuadro 3. Estadística descriptiva y estadístico Wilcoxon-Mann Whitney para las concentraciones de arsénico por sitio de muestreo, sexo y tamaño.

<i>Arsénico</i>		<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Wilcoxon-MW</i>
<i>Sitio de muestreo</i>	<i>V. Libre</i>	256.3	360.8	64.4	10.1	1198.1	$z = -0.985$
	<i>Cautiverio</i>	382.5	314.0	355.4	41.4	1048.5	$p > 0.05$
<i>Sexo</i>	<i>Machos</i>	314.8	356.6	277.7	10.1	1198.1	$z = -0.132$
	<i>Hembras</i>	294.8	341.0	79.6	27.1	1048.5	$p > 0.05$
<i>Tamaño</i>	<i>Pequeños</i>	562.8	299.1	488.5	262.1	1198.1	$z = 4.062$
	<i>Grandes</i>	48.1	20.5	47.6	10.1	88.6	$p < 0.05$

DE Desviación estándar

V. Libre Vida Libre

Wilcoxon-MW Wilcoxon-Mann Whitney

Concentraciones expresadas en ng/g

Cadmio

El 52.17% (n=12) de las muestras tuvo presencia de este metal. No se realizó la comparación entre cocodrilos de vida libre y cautiverio pues los de cautiverio no tuvieron presencia de Cd. Al comparar las concentraciones entre machos y hembras se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = -1.253$, $p > 0.05$). Y al comparar las concentraciones entre individuos pequeños y grandes se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = -0.615$, $p > 0.05$; Cuadro 4).

Cuadro 4. Estadística descriptiva y estadístico Wilcoxon-Mann Whitney para las concentraciones de cadmio por sitio de muestreo, sexo y tamaño.

	<i>Cadmio</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Wilcoxon-MW</i>
<i>Sitio de muestreo</i>	<i>V. Libre</i>	18.6	17.9	6.9	5.5	55.0	-
	<i>Cautiverio</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Sexo</i>	<i>Machos</i>	6.7	17.1	0.0	0.0	55.0	$z = -1.253$ $p > 0.05$
	<i>Hembras</i>	10.3	14.4	5.7	0.0	39.9	
<i>Tamaño</i>	<i>Pequeños</i>	13.9	21.1	0.0	0.0	55.0	$z = -0.615$ $p > 0.05$
	<i>Grandes</i>	5.2	4.0	5.7	0.0	13.7	

DE Desviación estándar

V. Libre Vida libre

Concentraciones expresadas en ng/g

Wilcoxon-MW Wilcoxon-Mann Whitney

Mercurio

El 86.96% (n=20) de las muestras tuvo presencia de este metal. Al comparar las concentraciones entre individuos de vida libre y cautiverio se encontró que no había

suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = -1.846$, $p > 0.05$). Al comparar las concentraciones entre machos y hembras se encontró que había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 2.967$, $p < 0.05$). Y al comparar las concentraciones entre individuos pequeños y grandes se encontró que había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 0.339$, $p > 0.05$; Cuadro 5).

Cuadro 5. Estadística descriptiva y estadístico Wilcoxon-Mann Whitney para las concentraciones de mercurio por sitio de muestreo, sexo y tamaño.

	<i>Mercurio</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Wilcoxon-MW</i>
<i>Sitio de muestreo</i>	<i>V. Libre</i>	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	$z = -1.846$
	<i>Cautiverio</i>	435.3	645.0	178.0	0.0	2069.9	$p > 0.05$
<i>Sexo</i>	<i>Machos</i>	447.2	678.6	134.1	0.0	2069.9	$z = 2.967$
	<i>Hembras</i>	26.5	91.5	0.1	0.0	317.1	$p < 0.05$
<i>Tamaño</i>	<i>Pequeños</i>	389.6	633.5	89.0	0.0	2069.9	$z = 0.339$
	<i>Grandes</i>	10.4	27.3	0.1	0.0	90.2	$p > 0.05$

DE Desviación estándar

V. Libre Vida libre

Concentraciones expresadas en ng/g

Wilcoxon-MW Wilcoxon-Mann Whitney

Minerales esenciales

Calcio

El 100% ($n=23$) de las muestras tuvo presencia de este metal. Al comparar las concentraciones entre individuos de vida libre y cautiverio se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = -0.308$, $p > 0.05$). Al comparar las concentraciones entre

machos y hembras se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 0$, $p > 0.05$). Y al comparar las concentraciones entre individuos pequeños y grandes se encontró que había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 3.385$, $p < 0.05$; Cuadro 6).

Cuadro 6. Estadística descriptiva y estadístico Wilcoxon-Mann Whitney para las concentraciones de calcio por sitio de muestreo, sexo y tamaño.

	<i>Calcio</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Wilcoxon-MW</i>
<i>Sitio de muestreo</i>	<i>V. Libre</i>	3090.3	4184.5	753.6	121.5	11819.1	$z = -0.308$
	<i>Cautiverio</i>	2621.4	3632.1	949.9	205.7	12685.6	$p > 0.05$
<i>Sexo</i>	<i>Machos</i>	2645.4	3571.6	1503.5	205.7	11819.1	$z = 0$
	<i>Hembras</i>	2598.6	4048.8	860.8	121.5	12685.6	$p > 0.05$
<i>Tamaño</i>	<i>Pequeños</i>	4997.1	4353.5	3315.4	234.2	12685.6	$z = 3.385$
	<i>Grandes</i>	541.3	580.5	319.0	121.5	2160.2	$p < 0.05$

DE Desviación estándar

V. Libre Vida libre

Concentraciones expresadas en $\mu\text{g/g}$

Wilcoxon-MW Wilcoxon-Mann Whitney

Cinc

El 100% ($n=23$) de las muestras tuvo presencia de este metal. Al comparar las concentraciones entre individuos de vida libre y cautiverio se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 0.985$, $p > 0.05$). Al comparar las concentraciones entre machos y hembras se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = -0.923$, $p > 0.05$). Y al comparar las concentraciones entre individuos pequeños y grandes se encontró que había

suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z= 3.2$, $p< 0.05$; Cuadro 7).

Cuadro 7. Estadística descriptiva y estadístico Wilcoxon-Mann Whitney para las concentraciones de cinc por sitio de muestreo, sexo y tamaño.

	<i>Cinc</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Wilcoxon-MW</i>
<i>Sitio de muestreo</i>	<i>V. Libre</i>	82.9	88.5	37.8	13.6	278.8	$z= 0.985$
	<i>Cautiverio</i>	30.7	16.2	32.9	8.7	58.0	$p> 0.05$
<i>Sexo</i>	<i>Machos</i>	37.9	38.5	29.6	8.7	141.1	$z= -0.923$
	<i>Hembras</i>	56.3	58.9	36.7	88.1	2779.1	$p> 0.05$
<i>Tamaño</i>	<i>Pequeños</i>	90.2	83.4	45.5	26.3	278.8	$z= 3.2$
	<i>Grandes</i>	22.8	13.4	20.2	8.7	48.3	$p< 0.05$

DE Desviación estándar

V. Libre Vida libre

Concentraciones expresadas en $\mu\text{g/g}$

Wilcoxon-MW Wilcoxon-Mann Whitney

Cobre

El 95.65% ($n=22$) de las muestras tuvo presencia de este metal. Al comparar las concentraciones entre individuos de vida libre y cautiverio se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z= 0.062$, $p> 0.05$). Al comparar las concentraciones entre machos y hembras se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z= -0.33$, $p> 0.05$). Y al comparar las concentraciones entre individuos pequeños y grandes se encontró que había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z= 3.385$, $p< 0.05$; Cuadro 8).

Cuadro 8. Estadística descriptiva y estadístico Wilcoxon-Mann Whitney para las concentraciones de cobre por sitio de muestreo, sexo y tamaño.

	<i>Cobre</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Wilcoxon-MW</i>
<i>Sitio de muestreo</i>	<i>V. Libre</i>	1369.7	1933.1	259.2	88.1	5707.0	$z= 0.062$
	<i>Cautiverio</i>	815.1	559.2	1101.0	0.0	1395.9	$p> 0.05$
<i>Sexo</i>	<i>Machos</i>	1111.6	1699.0	661.8	0.0	5707.0	$z= -0.33$
	<i>Hembras</i>	828.5	884.1	352.8	88.1	2779.1	$p> 0.05$
<i>Tamaño</i>	<i>Pequeños</i>	1943.6	1602.4	1279.8	0.0	5707.0	$z= 3.385$
	<i>Grandes</i>	189.0	91.5	156.7	88.1	383.9	$p< 0.05$

DE Desviación estándar

V. Libre Vida libre

Concentraciones expresadas en $\mu\text{g/g}$

Wilcoxon-MW Wilcoxon-Mann Whitney

Hierro

El 100% (n=23) de las muestras tuvo presencia de este metal. Al comparar las concentraciones entre individuos de vida libre y cautiverio se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z= 1.354$, $p> 0.05$). Al comparar las concentraciones entre machos y hembras se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z= 0.066$, $p> 0.05$). Y al comparar las concentraciones entre individuos pequeños y grandes se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z= 1.354$, $p> 0.05$; Cuadro 9).

Cuadro 9. Estadística descriptiva y estadístico Wilcoxon-Mann Whitney para las concentraciones de hierro por sitio de muestreo, sexo y tamaño.

	<i>Hierro</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Wilcoxon-MW</i>
<i>Sitio de muestreo</i>	<i>Vida Libre</i>	496.8	1005.2	64.1	21.0	3486.7	z= 1.354 p> 0.05
	<i>Cautiverio</i>	67.2	69.0	42.5	13.0	252.3	
<i>Sexo</i>	<i>Machos</i>	394.9	1086.6	49.1	13.0	3486.7	z= 0.066 p> 0.05
	<i>Hembras</i>	216.6	356.8	46.1	15.7	1203.1	
<i>Tamaño</i>	<i>Pequeños</i>	471.8	1003.9	107.1	13.0	3486.7	z= 1.354 p> 0.05
	<i>Grandes</i>	94.6	178.3	45.7	15.7	629.5	

DE Desviación estándar

V. Libre Vida libre

Concentraciones expresadas en $\mu\text{g/g}$

Wilcoxon-MW Wilcoxon-Mann Whitney

Magnesio

El 100% (n=23) de las muestras tuvo presencia de este metal. Al comparar las concentraciones entre individuos de vida libre y cautiverio se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = -0.492$, $p > 0.05$). Al comparar las concentraciones entre machos y hembras se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 0.462$, $p > 0.05$). Y al comparar las concentraciones entre individuos pequeños y grandes se encontró que había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 3.323$, $p < 0.05$; Cuadro 10).

Cuadro 10. Estadística descriptiva y estadístico Wilcoxon-Mann Whitney para las concentraciones de magnesio por sitio de muestreo, sexo y tamaño.

<i>Magnesio</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Wilcoxon-MW</i>	
<i>Sitio de muestreo</i>	<i>V. Libre</i>	378.3	427.3	172.0	34.1	1403.5	$z = -0.492$
	<i>Cautiverio</i>	274.7	121.4	337.3	82.4	395.1	$p > 0.05$
<i>Sexo</i>	<i>Machos</i>	357.3	384.6	287.6	99.0	1403.5	$z = 0.462$
	<i>Hembras</i>	276.7	257.8	183.4	34.1	1020.0	$p > 0.05$
<i>Tamaño</i>	<i>Pequeños</i>	488.2	375.1	363.7	34.1	1403.5	$z = 3.323$
	<i>Grandes</i>	154.8	57.3	163.8	82.4	293.3	$p < 0.05$

DE Desviación estándar

V. Libre Vida libre

Concentraciones expresadas en $\mu\text{g/g}$

Wilcoxon-MW Wilcoxon-Mann Whitney

Potasio

El 100% (n=23) de las muestras tuvo presencia de este metal. Al comparar las concentraciones entre individuos de vida libre y cautiverio se encontró que había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = -2.277$, $p < 0.05$). Al comparar las concentraciones entre machos y hembras se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 0.132$, $p > 0.05$). Y al comparar las concentraciones entre individuos pequeños y grandes se encontró que había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 4.062$, $p < 0.05$; Cuadro 11).

Cuadro 11. Estadística descriptiva y estadístico Wilcoxon-Mann Whitney para las concentraciones de potasio por sitio de muestreo, sexo y tamaño.

	<i>Potasio</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Wilcoxon-MW</i>
<i>Sitio de muestreo</i>	<i>V. Libre</i>	773.7	856.2	300.2	112.9	2302.0	$z = -2.277$
	<i>Cautiverio</i>	1743.8	1346.5	1450.7	311.8	4737.7	$p < 0.05$
<i>Sexo</i>	<i>Machos</i>	1176.9	839.7	1350.2	112.9	2369.3	$z = 0.132$
	<i>Hembras</i>	1328.7	1503.9	400.8	125.2	4737.7	$p > 0.05$
<i>Tamaño</i>	<i>Pequeños</i>	2111.7	1058.3	2056.0	752.8	4737.7	$z = 4.062$
	<i>Grandes</i>	284.2	103.9	296.3	112.9	442.3	$p < 0.05$

DE Desviación estándar

V. Libre Vida libre

Concentraciones expresadas en $\mu\text{g/g}$

Wilcoxon-MW Wilcoxon-Mann Whitney

Sodio

El 100% (n=23) de las muestras tuvo presencia de este metal. Al comparar las concentraciones entre individuos de vida libre y cautiverio se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = -0.554$, $p > 0.05$). Al comparar las concentraciones entre machos y hembras se encontró que no había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 0.264$, $p > 0.05$). Y al comparar las concentraciones entre individuos pequeños y grandes se encontró que había suficiente evidencia que indicara que existían diferencias significativas entre grupos (Wilcoxon-Mann Whitney, $z = 3.939$, $p < 0.05$; Cuadro 12).

Cuadro 12. Estadística descriptiva y estadístico Wilcoxon-Mann Whitney para las concentraciones de sodio por sitio de muestreo, sexo y tamaño.

	<i>Sodio</i>	<i>Promedio</i>	<i>DE</i>	<i>Mediana</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Wilcoxon-MW</i>
<i>Sitio de muestreo</i>	<i>V. Libre</i>	124.6	131.8	58.9	17.8	402.4	$z = -0.554$
	<i>Cautiverio</i>	166.8	164.8	162.9	17.0	608.8	$p > 0.05$
<i>Sexo</i>	<i>Machos</i>	138.9	124.0	137.8	17.0	402.4	$z = 0.264$
	<i>Hembras</i>	139.8	170.5	92.3	17.8	608.8	$p > 0.05$
<i>Tamaño</i>	<i>Pequeños</i>	241.0	144.2	194.5	107.2	608.8	$z = 3.939$
	<i>Grandes</i>	39.8	34.0	24.7	17.0	129.7	$p < 0.05$

DE Desviación estándar

V. Libre Vida libre

Concentraciones expresadas en $\mu\text{g/g}$

Wilcoxon-MW Wilcoxon-Mann Whitney

Presas

Al igual que con las muestras de cocodrilos, se analizaron las muestras de tegogolos y peces para buscar metales pesados (As, Cd, Hg, Ni y Pb). Se eligieron a los tegogolos como los primeros de la cadena alimenticia pues se alimentan en el sedimento (Cuadro 3). Por otro lado, los peces se manejaron como los siguientes en la red alimenticia y se analizaron los mismos metales (Cuadro 4). Para el caso de ambos grupos de presas únicamente se detectó As y Hg. Las concentraciones de metales de cada muestra de tegogolos y peces se encuentran en el Anexo 2 y 3, respectivamente.

Cuadro 3. Estadística descriptiva de metales pesados en muestras de tegogolos.

	<i>As</i>	<i>Hg</i>
<i>Mínimo</i>	70.62	80.19
<i>1er Cuartil</i>	72.34	126.39
<i>2do Cuartil</i>	75.21	131.05
<i>3er Cuartil</i>	84.89	174.47
<i>Máximo</i>	92.7	180.49
<i>Coefficiente de Variación %</i>	10.04	21.71
<i>Promedio</i>	78.42	143.98
<i>Desviación Estándar</i>	7.87	31.26

Los valores están expresados en nanogramos del elemento mineral por gramos de muestra

(ng/g)

Cuadro 4. Estadística descriptiva de metales pesados en muestras de peces.

	<i>As</i>	<i>Hg</i>
<i>Mínimo</i>	22.08	25.87
<i>1er Cuartil</i>	39.19	27.05
<i>2do Cuartil</i>	45.46	55.68
<i>3er Cuartil</i>	57.03	160.75
<i>Máximo</i>	94.31	178.1
<i>Coefficiente de Variación %</i>	38.08	77.05
<i>Promedio</i>	50.04	85.25
<i>Desviación Estándar</i>	19.06	65.69

Los valores están expresados en nanogramos del elemento mineral por gramos de muestra

(ng/g)

También se determinó la presencia de calcio, cinc, cobre, hierro, magnesio, potasio y sodio, considerados como minerales esenciales, en las muestras de tegogolos (Cuadro 5) y peces (Cuadro 6). Se encontró presencia de todos estos minerales.

Cuadro 5. Estadística descriptiva de minerales esenciales en muestras de tegogolos.

	<i>Ca</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mg</i>	<i>K</i>	<i>Na</i>
<i>Mínimo</i>	814.39	10.48	710.22	64.68	190.82	276.73	0.33
<i>1er Cuartil</i>	1596.33	14.32	927.46	75.67	194.79	807.95	3.18
<i>2do Cuartil</i>	1968.13	16.59	1124.92	87.2	200.94	942.91	3.69
<i>3er Cuartil</i>	2283.58	26.66	1302.48	97.32	217.49	976.95	3.96
<i>Máximo</i>	1236487	62.04	1489.32	380.37	223.62	1063.48	4.9
<i>Coefficiente Variación %</i>	114.04	66.57	21.27	79.24	5.89	26.28	42.9
<i>Promedio</i>	2704.93	22.75	1121.67	108.93	204.68	850.6	3.3
<i>Desviación Estándar</i>	3084.83	15.15	238.63	86.31	12.06	223.53	1.41

Los valores están expresados en microgramos del elemento mineral por gramos de muestra

($\mu\text{g/g}$).

Cuadro 6. Estadística descriptiva de minerales esenciales en muestras de peces.

	<i>Ca</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mg</i>	<i>K</i>	<i>Na</i>
<i>Mínimo</i>	3709.26	25.33	106.35	11.17	165.81	778.05	1.37
<i>1er Cuartil</i>	6014.02	45.7	127.51	15.23	175.89	1560.52	2.01
<i>2do Cuartil</i>	12104.38	54.33	141.95	20.78	197.85	1717.73	2.75
<i>3er Cuartil</i>	14598.42	65.51	153.42	67.39	217.11	1791.42	4.12
<i>Máximo</i>	24863.17	72.08	209.32	612.35	263.87	2240.82	7.54
<i>Coefficiente Variación %</i>	57.47	25.53	18.30	186.49	15.07	20.54	54.31
<i>Promedio</i>	12171.68	54.29	144.15	94.59	201.22	1669.39	3.3
<i>Desviación Estándar</i>	6994.57	13.86	26.38	176.41	30.33	342.83	1.8

Los valores están expresados en microgramos del elemento mineral por gramos de muestra

($\mu\text{g/g}$).

Las concentraciones de las muestras de tegogolos y peces se muestran en el Anexo 2 y 3 respectivamente.

DISCUSIÓN

Cocodrilos

Este estudio documenta por primera vez la presencia de metales esenciales y pesados en cocodrilos del estado Veracruz, México. El promedio de concentración encontrado para *Crocodylus moreletii* en este trabajo difiere con las concentraciones descritas para otras partes del país como Campeche (Trillanes, 2013; Trillanes et al., 2014) y Yucatán (Buenfil-Rojas et al., 2015). También difirió con las concentraciones reportadas en Belice por Rainwater et al. (2007). Éstos han sido los únicos estudios para la especie, sin embargo, se conocen casos similares que han reportado contaminantes en otras partes del mundo en otras especies (Heaton-Jones et al., 1997; Yanochko et al., 1997; Jagoe et al., 1998; Burger et al., 2000; Jefree et al., 2001; Rainwater et al., 2007). Las concentraciones promedio encontradas en este y otros estudios realizados con diferentes especies de cocodrilianos se pueden encontrar en el Anexo 4.

Metales pesados

Para el caso de los metales pesados, la presencia de As, Cd y Hg implica que los cocodrilos estuvieron expuestos lo suficiente como para acumularlos en las escamas caudales. Se han llevado a cabo estudios similares que muestrean diferentes tejidos u órganos del cuerpo para analizar metales como contaminantes. Tal es el caso de estudios realizados con *Alligator mississippiensis* (Heaton-Jones et al. 1997; Jagoe et al., 1998; Burger et al. 2000) en el que se reporta una correlación entre las concentraciones de metales como el Cd y Hg entre las escamas caudales y órganos internos. Esto puede sugerir que existe una alta concentración de contaminantes en las escamas también se encontrarán en

los órganos internos. En este estudio no se muestrearon órganos internos pero con los resultados de Rainwater et al. (2007) se determinó que las escamas caudales proveen información suficiente.

Arsénico

Para el caso del As se encontró que la concentración promedio en este estudio (Cuadro 1) fue mayor a la de Campeche (264.5 ± 354.3 ng/g; Trillanes et al., 2014). Por otro lado Rainwater et al. (2007) muestreó escamas caudales de *Crocodylus moreletii* en dos sitios en Belice y escamas de *C. acutus* en un sitio de Costa Rica. En ninguno de estos sitios y para ninguna de las dos especies se detectó presencia de As. Esto tiene relevancia pues únicamente dos sitios han registrado la presencia de As en la especie y este metal es altamente tóxico.

Trillanes et al. (2014) muestrearon 69 cocodrilos de cautiverio y 23 de vida libre para un total de 92 individuos. Únicamente encontraron una relación negativa entre la concentración de As y la longitud hocico-cloaca para un grupo de cocodrilos en cautiverio. En este estudio no se encontró ninguna relación significativa entre individuos de vida libre y cautiverio, sin embargo, individuos de cautiverio tuvieron una concentración promedio de As más alta que los de vida libre (382.5 ± 314 ng/g; Cuadro 3). Esto es contrario a lo encontrado por Trillanes et al. (2014) quien determinó que los individuos de vida libre presentaron mayor concentración de As.

Por otro lado, Burger et al. (2000) evaluaron la presencia de metales y metaloides en diferentes tejidos de *Alligator mississippiensis* y su relación con el hígado de los individuos. Resultó que existía una correlación positiva en un sitio de estudio entre la

concentración de As encontrado en muestras de punta de cola y la encontrada en hígado. No encontraron relaciones significativas entre sexo y concentración de As, al igual que en el presente estudio.

De acuerdo a la ONG y la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés), el arsénico no tiene ningún sabor ni tiene un olor especial por lo que es difícil saber si está presente en el ambiente o en alimentos. Por otro lado, se conoce que los compuestos inorgánicos del arsénico se usaban en plaguicidas pero fueron prohibidos recientemente. Sin embargo, existen compuestos orgánicos del arsénico como el ácido cacodílico, el arsenato de metilo bisódico (DSMA) y el arsenato de metilo monosódico (MSMA), los cuales aún están presentes en plaguicidas. Es posible que la presencia de As se deba a éstos (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2005; Organización Mundial de la Salud, 2018a).

Desde el año 1980 se comenzó la crianza para aprovechamiento comercial de cocodrilo y aproximadamente 15 países explotan los subproductos de esta actividad (Tercero, 2011). En México, las Unidades de Manejo de Vida Silvestre (UMA) son las encargadas del manejo de *Crocodylus moreletii* con el objetivo de producir piel y carne para comercialización (SEMARNAT, 2010). Generalmente la carne de cocodrilo producida en México se comercializa en el extranjero sin embargo podría ser una buena alternativa para consumo nacional (Tercero, 2011). Tercero (2011) realizó un estudio de la calidad de la carne de *C. moreletii* pero no abordó presencia de contaminantes por metales.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002, para productos cárnicos procesados, el límite máximo es de 500 ng/g para productos envasados en recipientes metálicos. Aunque no es la comparación más adecuada, no existe información

sobre la cantidad límite permisible de metales en productos cárnicos provenientes de cocodrilos. El promedio de concentración de As en las muestras de este estudio fue de 316.65 ± 337.69 (Cuadro 1), debajo del límite permisible. Sin embargo, hubo 10 muestras que tenían mayor concentración que van desde los 355 hasta 1198 ng/g de As. La cantidad de As presente en la muestra con mayor concentración fue casi dos veces más que la del límite máximo permitido. Por lo tanto, aunque la carne de cocodrilo es considerada un lujo exquisito en el ámbito de carnes exóticas (Velázquez, 2004), una UMA que aprovechara como subproducto la carne de *C. moreletii* en las inmediaciones del Lago de Catemaco posiblemente no sería la mejor opción pues 43% de las muestras superaban el límite máximo permitido de As.

Las pruebas de Wilcoxon-Mann Whitney que se realizaron con este metal fueron significativas más que para el tamaño de los cocodrilos. Los individuos de talla pequeña fueron los que tuvieron concentraciones más altas de As. Trillanes et al. (2014) hablan sobre una teoría que podría explicar este fenómeno. Un primer escenario establece que si la madre ya se había expuesto a metales pesados, es posible que los pudiera transferir a los huevos durante la ovogénesis (Rainwater et al., 2002; Trillanes et al., 2014) y que dicha concentración inicial permaneciera constante mientras que los individuos crecen. Esto podría resultar en que la concentración media de metales disminuya conforme los cocodrilos sigan creciendo (Trillanes et al. 2014). El segundo escenario trata la condición posible de contaminación crónica la cual explicaría que las crías y juveniles al tener metabolismo más rápido que los adultos, acumularían más metales y más rápido por lo que la concentración en cocodrilos pequeños sería más alta (Trillanes et al., 2014).

La prueba de Wilcoxon-Mann Whitney de As reveló que únicamente la categoría de tamaño fue significativa y particularmente los cocodrilos pequeños tuvieron mayor concentración del metal, siendo la máxima de 1198.1 ng/g a diferencia de la de los cocodrilos grandes cuyo valor más alto fue de 88.6 ng/g. A pesar de que el resto de las categorías no fueron significativas, se podría inferir que los cocodrilos pequeños, machos de vida libre son los que tienen concentraciones más altas de As en sus cuerpos (Cuadro 3).

Cadmio

Para el caso del Cd, los dos estudios que reportaron previamente la presencia de éste metal pesado fueron Rainwater et al. (2007) y Buenfil-Rojas et al. (2015). Rainwater et al. (2007) encontraron que en un sitio de muestreo de *Crocodylus moreletii* en Belice no se detectó el Cd pero en un segundo sitio se encontró una concentración promedio de 70.7 ± 45.7 ng/g, siendo ésta más alta que la reportada para este estudio, la cual fue de 9.71 ± 15.83 ng/g (Cuadro 1). Buenfil-Rojas et al. (2015) muestreó escamas caudales de *C. moreletii* en tres puntos en Río Hondo encontrando concentraciones de 11.7 ± 5.7 ng/g, 26.3 ± 15.8 ng/g y 85.2 ± 83.6 ng/g respectivamente, siendo todos los valores más altos que los reportados en este estudio (Cuadro 1). Finalmente, Rainwater et al. (2007) también muestreó un sitio en Costa Rica donde encontró que *C. acutus* tenía una concentración promedio de 337.5 ± 312.5 ng/g. A pesar de que ésta última fue el valor más alto es posible que se deba a la ubicación del sitio de muestreo y no se debiera al hecho de que se trató de otra especie.

Las partículas de Cd pueden movilizarse grandes distancias para después depositarse en la tierra o agua, además es sabido que las plantas y peces son capaces de

incorporar Cd al ambiente (ATSDR, 2012). Una manera en la que puede entrar el Cd al Lago de Catemaco es en baterías, pigmentos y plásticos, desechos humanos comunes que probablemente no se tratan ni recolectan adecuadamente en el municipio de Catemaco.

Según la NOM-213-SSA1-2002 para productos cárnicos procesados, el límite máximo de Cd para productos cárnicos procesados es de 100 ng/g. En este sitio de estudio ninguna muestra presentó un nivel superior al límite permitido e incluso hubo muestras que no tuvieron presencia de Cd. Esto podría significar que la presencia de este contaminante en el ambiente debe ser mínima.

La prueba de Wilcoxon-Mann Whitney no se realizó con el grupo de cautiverio y vida libre debido a que ningún animal de cautiverio tuvo Cd, los otros dos grupos no fueron significativos. La manera en que se distribuyeron los datos en los animales de cautiverio podría explicar que probablemente el Cd no se transfiere durante la ovogénesis. Por otro lado, Burger et al. (2000) y Buenfil-Rojas et al. (2015) sugieren que una alta concentración de Cd y Hg podría representar acumulación interna de estos metales. Para el Cd, las concentraciones obtenidas fueron bajas por lo que es probable que no exista una cantidad observable en órganos internos como es sugerido.

La prueba de Wilcoxon-Mann Whitney de Cd reveló que ninguna categoría fue significativa e incluso no se pudo llevar a cabo la prueba en cocodrilos de vida libre y cautiverio. Sin embargo se podría inferir que los cocodrilos pequeños, machos y de vida libre, al igual que el caso del As, son los que tienen mayor concentración de Cd con 55 ng/g (Cuadro 4).

Mercurio

La presencia de Hg en cocodrilos ha sido citada en la bibliografía y la presencia de este metal en este estudio no fue la excepción (Cuadro 1). Empezando por los estudios que han reportado Hg en *Crocodylus moreletii* y en orden de concentración menor a mayor encontramos lo siguiente. Rainwater et al. (2007) quienes muestrearon dos sitios en Belice detectaron concentraciones de 72.7 ± 20.4 ng/g y 98.7 ± 21.6 ng/g, respectivamente, ambas más bajas que la reportada para este estudio. Los siguientes trabajos citados tuvieron concentraciones más altas de Hg que las encontradas en el Lago de Catemaco, comenzando por Buenfil-Rojas et al. (2015) que muestrearon tres sitios diferentes en Río Hondo, determinando concentraciones de 232.8 ± 100.7 , 260.7 ± 164.8 y 561.63 ± 635.6 ng/g de muestra. Finalmente, Trillanes (2013) reporta la concentración más alta descrita para la especie, siendo ésta de 5494.1 ± 8376 ng/g. Por otro lado, también se tiene el registro de la concentración promedio de Hg en *C. acutus* en un sitio de muestreo en Costa Rica (Rainwater et al. 2007), el cual fue de 93.5 ± 27 ng/g, cuya concentración es menor a la detectada en Catemaco.

Diferentes estudios con *Alligator mississippiensis* también reportaron presencia de Hg en diferentes tejidos y órganos como (Yanochko et al., 1997; Jagoe et al., 1998; Burger et al., 2000). Únicamente los estudios de Jagoe et al. (1998) y Burger et al. (2000) tuvieron concentraciones menores que *Crocodylus moreletii*, el resto fueron mayores. Algo importante de destacar es que Burger et al. (2000) estableció una correlación fuerte entre la concentración de Hg en escamas caudales y en órganos internos. Por lo tanto sugirió que altas concentraciones de Hg tanto de Cd podrían representar acumulación interna.

Similar al caso del Cd, la mayor parte del Hg que se libera al ambiente es debido a actividades humanas como quemar combustibles fósiles industrialmente o en residencias (Schneider et al., 2013), lo cual coincide con el estilo de vida de algunas comunidades de Catemaco. También se reporta por el desecho inapropiado de residuos como termómetros. Cuando el Hg se libera de su forma elemental inorgánica o metálica, se transforma en su forma orgánica conocida como metilmercurio, el cual se acumula en peces y crustáceos (OMS, 2018b). La población de Catemaco practica la pesca de subsistencia además de que los cocodrilos consumen regularmente los peces del lago por lo que es posible que exista una exposición sistemática al metilmercurio (OMS, 2018b).

Las pruebas de Wilcoxon-Mann Whitney únicamente fueron significativas para machos y hembras. Los machos tuvieron concentraciones más altas que las hembras. La concentración mayor de Hg en machos fue de 2069.87 ng/g. Rainwater et al. (2007) y Buenfil-Rojas et al. (2015) notaron presencia de Hg en sus muestras, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre machos y hembras. Por otro lado, Buenfil-Rojas et al. (2015) percibieron que la concentración de metalotioneínas (MT's) en plasma más alta se evidenciaba en los machos. Aunque no se pueden comparar por completo, la concentración de Hg en MT's fue mayor en machos que en hembras de la misma manera que en las escamas de este estudio.

Al igual que Rainwater et al. (2002) los cocodrilos del Lago de Catemaco no mostraron síntomas obvios de envenenamiento por Hg ni signos de que la población del lago se vea afectada por la presencia de Hg o ningún otro metal pesado detectado en este estudio.

La prueba de Wilcoxon-Mann Whitney de Hg reveló que únicamente la categoría de sexo fue significativa y los cocodrilos macho tuvieron mayor concentración del metal, siendo la máxima de 2069.9 ng/g a diferencia de la de los cocodrilos hembras cuyo valor más alto fue de 317.1 ng/g. A pesar de que el resto de las categorías no fueron significativas, se podría inferir que los cocodrilos pequeños, machos en cautiverio son los que tienen concentraciones más altas de Hg en sus cuerpos (Cuadro 5). La única diferencia entre As y Cd contra Hg es que los cocodrilos de cautiverio tienen mayor concentración y no los de vida libre como en los primeros dos metales pesados.

Metales esenciales

Como lo menciona Buenfil (2014), los minerales o metales esenciales son aquellos necesarios para llevar a cabo procesos biológicos pero pueden generar reacciones tóxicas si su concentración en el organismo es excesiva. Poder comparar las concentraciones finales es complicado pues solo algunos estudios han abordado las concentraciones de minerales esenciales en cocodrilos. Solo tres (Zn, Cu, Ni) de los siete minerales han sido reportados en estudios anteriores (Rainwater et al., 2007; Trillanes et al., 2014). A pesar de que se buscó Ni en las muestras de Catemaco, no hubo lecturas que mostraran la presencia del metal. Ningún animal muestreado tuvo signos evidentes de toxicidad por algún mineral esencial y como se menciona anteriormente, solo dos minerales encontrados en este estudio fueron reportados previamente (Zn, Cu). Es por lo que los resultados obtenidos para Ca, Fe, Mg, K y Na solo se reportarán para futuras referencias (Cuadro 2).

Cinc

La concentración promedio encontrada en este estudio (Cuadro 2) es la más alta reportada para la especie de *Crocodylus moreletii*. Rainwater et al. (2007) buscaron presencia de Zn en sus muestras pero no lograron detectarlo para *C. moreletii*. En el caso de *C. acutus* se encontró una concentración considerablemente mayor para Costa Rica (Rainwater et al. 2007). A pesar de encontrar resultados positivos en el 100% de sus muestras, no se hace una discusión más profunda al respecto.

Lamentablemente, y como menciona Lance et al. (1995), la información disponible sobre el papel del cinc en los animales ectotermos es escasa. Por esta razón, es complicado determinar si la concentración de Zn encontrada en estas muestras es tóxica o no. Los resultados encontrados por Lance et al. (1995) fueron para muestras de plasma sanguíneo por lo que no podemos comparar ambos estudios. Sin embargo, se encontró que la concentración promedio de cinc en el plasma de *A. mississippiensis* en edad no reproductiva fue de 0.4 a 0.5 µg/mL (Lance et al., 1995).

La prueba de Wilcoxon-Mann Whitney de Zn no reveló diferencias significativas en ninguna categoría. El máximo valor encontrado fue de 2779.1 µg/g en una hembra, seguido de 278.8 µg/g encontrado en cocodrilos pequeños de vida libre (Cuadro 7).

Cobre

El Cu también es considerado como un metal esencial y se tuvo presencia en las muestras colectadas del Lago de Catemaco (Cuadro 2). El único estudio disponible que ha reportado la presencia de este metal en *Crocodylus moreletii* fue Rainwater et al. (2007) en Belice. Las concentraciones promedio encontradas en Belice fueron de 346 ± 89.8 y 451.8

$\pm 38 \mu\text{g/g}$ de Cu respectivamente. En el mismo trabajo también se reportó la concentración promedio de Cu en *C. acutus*, la cual fue de $125 \pm 67.8 \mu\text{g/g}$. Comparándolas con las obtenidas en este estudio fueron más bajas que las de Catemaco.

Rainwater et al. (2007) realizaron pruebas de correlación entre la concentración de Cu en sus muestras y el tamaño de los cocodrilos. Encontraron una correlación positiva en el caso de los machos en donde se observó que mientras más grandes fueran, tenían una concentración más alta de Cu. No se encontró ningún tipo de correlación en el caso de las hembras. En el presente estudio no se encontró una relación significativa entre el sexo y la concentración del Cu. A pesar de esto, se encontró que en muchos casos parece ser que los cocodrilos pequeños presentan concentraciones más altas de Cu y otros minerales esenciales.

La prueba de Wilcoxon-Mann Whitney de Cu reveló que únicamente la categoría de tamaño fue significativa y particularmente los cocodrilos pequeños tuvieron mayor concentración del metal, siendo la máxima de $5707 \mu\text{g/g}$ a diferencia de la de los cocodrilos grandes cuyo valor más alto fue de $383.9 \mu\text{g/g}$. A pesar de que el resto de las categorías no fueron significativas, se podría inferir que los cocodrilos pequeños, machos de vida libre son los que tienen concentraciones más altas de Cu en sus cuerpos al igual que en el caso del As y Cd (Cuadro 8).

Presas

Este estudio es también el primero que reporta la presencia de metales esenciales y pesados en las presas potenciales de *Crocodylus moreletii* del estado de Veracruz, México.

En los estudios previos encontrados no hubo ninguno que haya reportado estos valores para los tegogolos (*P. patula catemacensis*) ni para ninguna de las especies de peces muestreada.

Para el caso de los tegogolos, Naranjo (2003) afirma que los moluscos son excelentes bioindicadores por sus hábitos sedentarios, longevidad y resistencia a variaciones ambientales. Pero las especies de aguas continentales no han sido analizadas en términos de contaminantes (Naranjo, 2003). Moreno (2014) estudió la especie *Pomacea flagellata* en la Laguna de Bacalar, Quintana Roo, México y encontró presencia de Hg. Sin embargo, solo una de ellas rebasó el límite permitido establecido en la NOM 129-SSA1-1995, 1 µg/g. En este estudio, ninguna de las muestras rebasó el límite máximo permitido, lo cual refleja un estado de salud relativamente bueno en la muestra colectada. La concentración promedio de Hg en cocodrilos y tegogolos es relativamente la misma, de 208.24 y 143.98 ng/g respectivamente. Cabe destacar que se procesaron únicamente 12 muestras, por lo que se recomienda hacer un muestreo más extenso en el futuro para poder determinar si existe un riesgo a mediano o largo plazo además de determinar si hay un fenómeno de bioacumulación claro en este metal en el caso de los tegogolos.

Lamentablemente, las concentraciones de As son las primeras en reportarse para la especie e incluso el género. El promedio encontrado fue de 78.42 ng/g y la NOM 129-SSA1-1995 no aborda el As como contaminante en moluscos. Se usó la NOM-213-SSA1-2002 para productos cárnicos procesados, la cual indica como límite máximo, 500 ng/g de As. Ninguna de las muestras rebasó el límite máximo permitido. La concentración promedio de As en las escamas de cocodrilo es 4 veces mayor que la de tegogolos. Por lo tanto se podría hablar en primera instancia de un fenómeno de bioacumulación de As en la red alimenticia, tomando en cuenta únicamente estos dos eslabones.

Para el caso de los peces se han hecho pocos estudios y ninguno aborda la presencia de metales pesados en el Lago de Catemaco. Únicamente se encontraron dos trabajos en la zona. Calderón et al. (2001) buscaron plaguicidas organoclorados pero solo uno se acercó a los límites máximos permitidos. Aunque los pobladores no fueron expuestos a contaminantes, existe un riesgo a mediano y largo plazo por bioacumulación en tegogolos (*P. patula catemacensis*) y topote (*Dorosoma petense*). Por otro lado, Seba (2009) estudió el estado de salud reproductiva de algunas especies del lago de Catemaco, pero no determinó si existían contaminantes en sus muestras o no. Este estudio es el primero que determina la presencia de metales pesados en cuatro especies del lago de Catemaco. La concentración general de las especies de peces para Hg fue de 85.25 ng/g mientras que en los cocodrilos fue de 208.24 ng/g, dos veces mayor que en peces. En el caso de As, la concentración promedio en peces fue de 50.04 ng/g y en cocodrilos fue de 316.65 ng/g, seis veces mayor que en peces. Al igual que con los tegogolos podemos inferir que existe bioacumulación en la red alimenticia.

CONCLUSIONES

Este estudio reporta la presencia de metales pesados en la población de *Crocodylus moreletii* del Lago de Catemaco, encontrándose que están expuestas a contaminación por arsénico, cadmio y mercurio. También reporta la presencia y las cantidades exactas de minerales esenciales como lo son el calcio, cinc, cobre, hierro, magnesio, potasio y sodio. No se pudo determinar la presencia de níquel o plomo utilizando la técnica de espectrofotometría atómica. Esto no quiere decir que los metales no estén presentes y tal vez una técnica de análisis más exhaustiva podría develar la presencia en algunas muestras o incluso todas.

En general, para los metales pesados no se encontraron relaciones significativas entre el tipo de vida (cautiverio y vida libre), sexo y tamaño de los animales. Las únicas relaciones significativas que se encontraron fueron en el arsénico para la categoría de tamaño. En esta relación se observó que los cocodrilos pequeños presentaban mayor concentración del metal que los animales grandes. Para poder determinar lo que ocurre en el Lago de Catemaco, Veracruz, se recomienda que en el futuro se realicen estudios con los huevos a partir de los nidos de *C. moreletii* que se encuentren en el área. Asimismo, se recomienda monitorear a las hembras reproductoras de la zona y establecer una posible relación entre la concentración de metales en estas hembras y sus nidos e incluso los neonatos.

La otra relación significativa que se encontró fue con el mercurio en la categoría de sexo. En dicha relación, se notó que los machos tenían concentraciones más altas del metal que las hembras. Lamentablemente ningún estudio realizado con *Crocodylus moreletii* ha reportado estas diferencias. Sin embargo, lo más cercano lo obtuvo Buenfil-Rojas et al.

(2015), quien encontró que la respuesta en el plasma conocida como metalotioneínas fue más alta en los machos que las hembras. Sin embargo, a pesar de encontrar esta relación, no se sabe el efecto que pudiera tener la presencia de Hg en las poblaciones de cocodrilos a nivel reproductivo por lo que se recomiendan estudios que aborden las células reproductivas y si la presencia de Hg en el ambiente las altera de alguna forma.

La naturaleza de las relaciones significativas y las no significativas podría deberse al bajo número de muestras obtenido para el estudio. Por esta razón se recomienda hacer un muestreo más exhaustivo de toda el área e incluso aventurarse a realizar un estudio a nivel estado Veracruz.

El contar con la información de las concentraciones de minerales esenciales en los cocodrilos de Catemaco es de suma importancia pues no existe un documento hasta ahora que contenga información precisa de un cocodrilo sano o uno que potencialmente tiene exceso de alguno de estos minerales esenciales. Este estudio podrá brindar una base para la determinación de estos metales en cocodrilos sanos y poder tomar acciones prudentes y oportunas en la salud de las poblaciones de cocodrilos mexicanas.

Para el caso de las presas se encontró que, con las muestras obtenidas, podemos inferir que existe bioacumulación y biomagnificación en la cadena alimenticia. Sin embargo, se recomienda realizar un muestreo más exhaustivo.

LITERATURA CITADA

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2005). Reseña Toxicológica del Arsénico. Recuperado el 15 diciembre, 2018 de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2012). Reseña Toxicológica del Cadmio. Recuperado el 15 diciembre, 2018 de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.html

Álvarez del Toro, M. y Sigler, L. (2001). *Los Crocodylia de México*. México: IMERNAR, PROFEPA.

Booyens, P. L. (2011). *Pollutants associated with mass mortality of Nile crocodiles (Crocodylus niloticus) in the Kruger National Park, South Africa*. Tesis de Maestría. Potchefstroom Campus de North-West University. Sudáfrica, Potchefstroom.

Buenfil, M. (2014). *Biomarcadores de efecto y exposición a metales pesados en Crocodylus moreletii, en el río Hondo*. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. México, Campeche.

Buenfil-Rojas, A. M., Álvarez-Legorreta, T. y Cedeño-Vázquez, J. R. (2015). Metals and metallothioneins in Morelet's crocodile (*Crocodylus moreletii*) from a transboundary river between México and Belize. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 68: 265-273.

Burger, J., Gochfeld, M., Rooney, A., Orlando, E., Woodward, A. y Guillette Jr, L. (2000). Metals and metaloids in tissues of American alligators in three Florida lakes. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 38: 501-508.

Calderón, H. E., González, R. y Durán, C. (2001). Plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos acuáticos del Lago de Catemaco, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 17: 23-30.

Campbell, J. W., Waters, M. N., Tarter, A. y 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.

Capó, M. (2007). *Principios de ecotoxicología: Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente*. España: Tébar.

Casas-Andreu, G. (1995). Los cocodrilos de México como recurso natural: Presente, pasado y futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 46: 153-162.

Cedeño-Vázquez, R., Ross, P. y Calmé, S. (2006). Population status and distribution of *Crocodylus acutus* and *Crocodylus moreletii* in Southeastern Quintana Roo, Mexico. *Herpetological Natural History*, 10(1), 53-66.

Córdoba, D. (2006). *Toxicología*. Colombia: Manual Moderno.

Ettling, J. y Schmidt, F. (2015). Introduction to reptile conservation. *International Zoo Yearbook*, 49: 1-7.

Gibbons, J., Scott, D., Ryan, T., Buhlmann, K., Tuberville, T., Metts, B., Greene, J., Mills, T., Leiden, Y., Poppy, S. y Winne, C. (2000). The global decline of reptiles, déjà vu amphibians. *BioScience*, 50(8): 653-666.

Grillitsch, B. y Schiesari, L. (2010). The Ecotoxicology of Metals in Reptiles. En *Ecotoxicology of Amphibians and Reptiles* (pp. 337-448). New York, U.S.A.: SETAC.

Guillory, G., Hardaway, C., Merchant, M. y Sneddon, J. (2011). Determination of selected metals in alligator (*Alligator mississippiensis*) tissues by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. *Instrumentation Science & Technology*, 39(4), 368-373.

Heaton-Jones, T., Homer, B., Heaton-Jones, D. y Sundlof, S. (1997). Mercury Distribution in American Alligators (*Alligator mississippiensis*) in Florida. *American Association of Zoo Veterinarians*, 28(1): 62-70.

Hopkins, W. A., DuRant, S. E., Staub, B. P, Rowe, C. L., y Jackson, B. P. (2006). Reproduction, embryonic development, and maternal transfer of contaminants in the amphibian *Gastrophryne carolinensis*. *Environmental Health Perspect*, 114, 661–666.

Jagoe, C. H., Arnold-Hill, B., Yanochko, G. M., Winger, P. V. y Brisbin Jr., I. L. (1998). Mercury in alligators (*Alligator mississippiensis*) in the southeastern United States. *The Science of the Total Environment*, 213: 255-262.

Jeffree, R., Markich, S. y Tucker, A. (2005). Patterns of metal accumulation in osteoderms of the Australian freshwater crocodile *Crocodylus johnstoni*. *Science of the Total Environment*, 336, 71-80.

Lance, V. A., Cort, T., Masuoka, J., Lawson, R., y Saltman, P. (1995). Unusually high zinc concentrations in snake plasma, with observations on plasma zinc concentrations in lizards, turtles and alligators. *Journal of Zoology*, 235(4), 577–585.

Lorán-Núñez, R. M., Martínez, F. R., Valdez-Guzmán, A. J. y Martínez-Lorán, E. R. (2013). Notas sobre la biología del guatopote azul *Poecilia catemacensis* del Lago de Catemaco, Veracruz. *Ciencia Pesquera*, 21(2): 43-46.

Moreno, J. (2014). *Determinación de metales pesados (Hg, Pb, Cd y Zn) en el molusco Pomacea flagellata (Say, 1827) de la Laguna de Bacalar, Quintana Roo*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Quintana Roo. México, Quintana Roo.

Naranjo, E. (2003). Moluscos continentales de México: Dulceacuícolas. *Revista de Biología Tropical*, 51(3): 495-505.

Newberger, D. (2014). Transition metal accumulation in caudal scutes of american crocodiles (*Crocodylus acutus*) from Belize. Tesis de Licenciatura. Baylor University. E.U.A., Texas.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018a). *Arsénico*. Recuperado el 15 diciembre, 2018 de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018b). *Mercurio*. Recuperado el 15 diciembre, 2018 de https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/mercury/es/

Páez-Osuna, F. y Osuna-Martínez, C. C. (2011). Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: Una revisión sobre los organismos utilizados. *Hidrobiológica*, 21(3): 229-238.

Pérez-Rojas, A. y Torres-Orozco, R. (1992). Geomorfología y batimetría del Lago de Catemaco, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología - UNAM*, 19: 19-24.

Platt, S. G., Sigler, L. y Rainwater, T. R. (2010). Morelet's Crocodile *Crocodylus moreletii*. En S. C. Manolis y C. Stevenson (Eds.), *Crocodiles: Status Survey and Conservation Action Plan* (pp. 79-83) Crocodile Specialist Group: Darwin.

Rainwater, T. R., Adair, B. M., Platt, S. G., Anderson, T. A., Cobb, G. P. y McMurry, S. T. (2002). Mercury in Morelet's crocodile eggs from Northern Belize. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 42: 319-324.

Rainwater, T., Wu, T., Finger, A., Cañas, J., Yu, L., Reynolds, K., Coimbatore, G., Barr, B., Platt, S., Cobb, G., Anderson, T. y McMurry, S. (2007). Metals and organochlorine pesticides in caudal scutes of crocodiles from Belize and Costa Rica. *Science of the Total Environment*, 373, 146-156.

Ross, C. A. y Ross, F. D. (1974). Caudal scalation of Central American *Crocodylus*. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 87: 231-234.

Sánchez-Herrera, O., López-Segurajáuregui, G., García-Naranjo, A. y Benítez-Díaz, H. (2011). *Programa de monitoreo del cocodrilo de pantano (Crocodylus moreletii) México-Belice-Guatemala*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Schardt, H. (2008) Why is this crocodile smiling? *National Wildlife*, 46, 31-35.

Schneider, L., Maher, W., Green, A. y Vogt, R. (2013). Cap. 9 Mercury contamination in reptiles: An emerging problem with consequences for wild life and human health. En: K. Ki-Hyun y R. Brown. (Eds.). *Mercury: Sources, applications and health impacts* (pp. 173-232). Nova Science Publishers, Inc. Chemistry Research and Applications.

Seba, M. (2009). *Estado de Salud de las Poblaciones de Peces del Lago Catemaco, Veracruz*. Tesis de Técnico Superior Universitario. Universidad Veracruzana. México, Veracruz.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT-2010. *Diario Oficial de la Federación (DOF)*, jueves 30 de diciembre de 2010.

Seuss, D. (1971). *The Lorax*. New York: Random House.

Sigler, L. y Gallegos, J. (2017). *El conocimiento sobre el cocodrilo de Morelet *Crocodylus moreletii* (Duméril y Duméril 1851) en México, Belice y Guatemala*. México.

Smith, P., Cobb, G., Godard-Codding, C., Hoff, D., McMurry, S., Rainwater T. y Reynolds, K. (2007). Contaminant exposure in terrestrial vertebrates. *Environmental Pollution*, 150: 41–64.

Soto, M. y L. Gamma. (1997). Climas. En: R. Dirzo y R. C. Voght (Eds.), *Historia natural de Los Tuxtlas* (pp. 7-23). UNAM, México.

Stanton, J., Schoemaker, K., Pearson, R. y Akcakaya, H. (2015). Warning times for species extinctions due to climate change. *Global Change Biology*, 21: 1066-1077.

Tellez, M. y Merchant, M. (2015). Biomonitoring heavy metal pollution using an aquatic apex predator, the American alligator and its parasites. *PLOS ONE*, 10(11), 18p.

Tercero, A. (2011). *Evaluación de la calidad de la carne de cocodrilo (*Crocodylus moreletii*) y sus cambios fisicoquímicos y microbiológicos durante el almacenamiento en refrigeración*. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. México, Veracruz.

The IUCN Red List of Threatened Species. (Version 2016-3). IUCN. Recuperado 1 junio, 2018 www.iucnredlist.org

Torres-Orozco, R. B. y Pérez-Rojas, A. (2002). El Lago de Catemaco. En G. de la Lanza y J. L. García-Calderón (Eds.). *Lagos y Presas de México* (pp. 213-251). México: AGT.

Trillanes, C. (2013). *Análisis de minerales no esenciales en escamas de Crocodylus moreletii en Campeche, México*. El Colegio de la Frontera Sur. México, Campeche.

Trillanes, C. E., Pérez-Jiménez, J. C., Rosiles-Martínez, R. y González-Jáuregui, M. (2014). Metals in the caudal scutes of Morelet's crocodile (*Crocodylus moreletii*) from the Southern Gulf of México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 93: 423-428.

Velázquez, J. A. (2004). *Modelo de competitividad global de la industria de piel de cocodrilo Moreletii*. Culiacán. México: Universidad Autónoma de Sinaloa.

Villegas, A. y Reynoso, V. H. (2013). Relative abundance and hábitat preference in isolated populations of Morelet's crocodile (*Crocodylus moreletii*) along the coast of the Gulf of Mexico. *Herpetological Conservation and Biology*, 8(3): 571-580.

Vitt, L. J. y Caldwell, J. P. (2009). *Herpetology: An introductory biology of amphibians and reptiles*. USA: Academic Press.

Xu, Q., Fang, S., y Wang, Z. (2006). Heavy Metal Distribution in Tissues and Eggs of Chinese Alligator (*Alligator sinensis*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 50, 580-586.

Yanochko, G. M., Jagoe, C. H. y Brisbin Jr., I. L. (1997). Tissue mercury concentrations in alligators (*Alligator mississippiensis*) from the Florida Everglades and the Savannah River site, South Carolina. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 32: 323-328.

Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J., Jiang, G. (2008). Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica Chimica Acta*, 606: 135-150.

Anexo 1. Concentraciones de cada metal en todas las muestras de escamas de cocodrilo (*Crocodylus moreletii*).

<i>Muestra</i>	<i>Localidad</i>	<i>Longitud Total (cm)</i>	<i>Sexo</i>	<i>Tamaño</i>	<i>As*</i>	<i>Cd*</i>	<i>Hg*</i>	<i>Ca†</i>	<i>Zn†</i>	<i>Cu†</i>	<i>Fe†</i>	<i>Mg†</i>	<i>K†</i>	<i>Na†</i>
<i>C1</i>	Frente a Nanciyaga	243	M	Adulto grande	10.15	5.96	0.22	248.37	15.48	125.02	53.30	124.60	296.33	24.03
<i>C2</i>	Nanciyaga	246	H	Adulto grande	47.60	5.50	0.25	319.00	23.97	196.71	51.13	163.79	125.21	28.35
<i>C3</i>	Cafetal	215	M	Adulto grande	44.64	6.55	0.28	421.03	20.25	184.16	74.99	163.80	112.87	34.54
<i>C4</i>	Jungla	227	H	Adulto grande	49.41	5.71	0.13	227.15	23.29	135.28	30.04	164.12	248.15	23.72
<i>C5</i>	Arroyo Agrio	222	H	Adulto grande	27.07	5.64	0.09	121.47	13.59	88.10	25.09	137.31	278.91	17.77
<i>C6</i>	Cafetal	311	H	Adulto grande	70.67	6.38	0.13	2160.22	32.48	156.68	41.14	179.84	231.65	129.65
<i>C7</i>	Nanciyaga	236	H	Adulto grande	88.55	7.24	0.09	585.33	48.26	321.60	21.00	186.90	304.15	43.46
<i>C8</i>	Frente a Nanciyaga	54	-	Juvenil	598.35	32.02	0.04	8281.37	278.84	4345.11	153.36	668.06	752.79	262.78
<i>C9</i>	Entrada Río Margaritas	43	M	Cría	1198.14	54.97	0.01	11819.15	141.10	5706.96	3486.66	1403.49	2045.88	402.38
<i>C10</i>	Entrada Río Margaritas	48	H	Cría	361.04	39.90	0.02	2754.90	155.83	2013.48	1203.08	34.10	2301.99	138.11
<i>C11</i>	Las Margaritas	50	H	Cría	521.90	39.90	0.02	9224.27	198.78	2779.11	192.49	1020.02	2144.42	315.56
<i>C12</i>	Las Margaritas	220	H	Adulto grande	58.16	13.66	0.04	921.80	43.05	383.93	629.55	293.26	442.28	74.42

*Concentraciones expresadas en ng/g
M Machos

†Concentraciones expresadas en µg/g
H Hembras

Anexo 1. Concentraciones de cada metal en todas las muestras de escamas de cocodrilo (*Crocodylus moreletii*; Continuación).

<i>Muestra</i>	<i>Localidad</i>	<i>Longitud Total (cm)</i>	<i>Sexo</i>	<i>Tamaño</i>	<i>As*</i>	<i>Cd*</i>	<i>Hg*</i>	<i>Ca†</i>	<i>Zn†</i>	<i>Cu†</i>	<i>Fe†</i>	<i>Mg†</i>	<i>K†</i>	<i>Na†</i>
<i>C13</i>	Nanciyaga	166	M	Adulto	43.46	0.00	90.19	310.04	11.87	234.19	52.43	99.04	415.29	19.68
<i>C14</i>	Nanciyaga	123	M	Sub-adulto	48.19	0.00	22.50	205.72	8.71	124.51	45.67	108.19	311.79	16.98
<i>C15</i>	Nanciyaga	211	H	Adulto grande	41.39	0.00	0.00	434.18	9.78	128.83	15.74	82.36	359.38	24.67
<i>C16</i>	Nanciyaga	26	M	Cría	362.20	0.00	2069.87	2586.03	50.14	1318.70	110.29	395.15	1450.75	168.35
<i>C17</i>	Nanciyaga	40.9	M	Cría	530.06	0.00	1174.67	234.17	38.84	1089.49	41.06	337.26	1412.06	107.25
<i>C18</i>	Nanciyaga	41.3	H	Cría	455.09	0.00	0.00	799.86	40.95	1101.05	33.01	319.28	1459.60	110.19
<i>C19</i>	Nanciyaga	36.9	H	Cría	1048.45	0.00	317.06	949.86	27.65	1395.91	104.00	368.16	3311.04	162.88
<i>C20</i>	Nanciyaga	52.4	M	Juvenil	293.23	0.00	494.13	3334.76	32.99	1146.40	42.47	359.23	1288.39	198.82
<i>C21</i>	Nanciyaga	39.6	H	Cría	767.82	0.00	0.00	12685.58	58.01	1240.81	252.35	371.11	4737.68	608.77
<i>C22</i>	Nanciyaga	44.1	M	Cría	355.35	0.00	178.00	3998.99	32.91	1186.63	29.53	344.14	2066.16	227.24
<i>C23</i>	Nanciyaga	47.6	M	Cría	262.13	0.00	441.72	3296.14	26.28	0.00	13.04	237.86	2369.32	190.08

*Concentraciones expresadas en ng/g

†Concentraciones expresadas en µg/g

M Machos

H Hembras

Anexo 2. Concentraciones de cada metal en todas las muestras de tegogolos (*Pomacea patula catemacensis*; Te).

MUESTRA	AS*	HG*	CA†	ZN†	CU†	FE†	MG†	K†	NA†
TE 1	73.29	178.10	12364.87	62.04	1128.64	72.06	215.73	782.60	3.84
TE 2	70.62	171.60	814.39	34.64	710.22	380.37	191.27	276.73	0.33
TE 3	86.02	129.17	1850.85	39.40	1075.61	90.53	201.43	577.28	0.61
TE 4	74.28	180.49	2260.90	13.14	860.68	99.54	219.25	947.35	3.78
TE 5	91.15	125.33	1107.22	18.69	1431.18	79.28	196.04	847.71	4.90
TE 6	74.85	130.42	1433.74	10.48	1489.32	64.68	220.00	1063.48	3.24
TE 7	71.40	173.50	1770.46	15.18	1183.30	68.07	190.82	833.31	3.60
TE 8	83.77	175.44	2306.26	14.26	1376.53	83.87	196.62	949.65	4.05
TE 9	75.58	131.69	2613.37	17.63	938.61	101.29	207.44	940.30	3.54
TE 10	92.70	127.46	1758.93	14.39	1121.20	91.51	200.46	945.53	3.87
TE 11	76.03	80.19	2085.42	16.12	1228.43	95.11	223.62	1039.03	4.62
TE 12	71.40	124.40	2092.73	17.06	916.32	80.82	193.54	1004.25	3.13

*Concentraciones expresadas en ng/g

†Concentraciones expresadas en µg/g

Anexo 3. Concentraciones de cada metal en todas las muestras de pepesca (*Bramocharax caballeroi*; Pe), conchero (*Cichlasoma fenestratum*; Co), topote (*Dorosoma mexicana*; To) y chogoma (*Mayaheros urophthalmus*; Ch).

MUESTRA	AS*	HG*	CA†	ZN†	CU†	FE†	MG†	K†	NA†
PE1	46.45	166.14	3709.26	51.57	139.79	18.40	165.81	1810.22	1.37
PE2	72.88	26.75	5148.15	47.69	149.01	17.45	168.26	1549.70	1.65
PE3	94.31	27.32	4697.21	57.09	130.07	11.17	172.61	1514.31	1.45
CO1	49.79	178.10	24455.56	65.80	106.35	52.43	199.76	1591.34	7.54
CO2	40.06	170.05	6879.89	41.49	122.31	12.59	179.18	1724.55	2.37
CO3	22.08	76.29	9579.49	44.93	126.43	13.01	193.62	1739.87	3.07
TO1	44.48	35.07	13321.86	65.22	167.01	250.29	241.63	1636.94	2.44
TO2	64.08	107.98	24863.17	64.11	209.32	612.35	263.87	1772.62	3.94
TO3	41.51	155.36	11401.55	46.47	155.85	82.36	229.82	1710.91	2.41
CH1	38.33	27.11	14066.46	69.70	151.00	24.27	204.41	778.05	4.30
CH2	49.98	27.00	12807.21	72.08	128.59	17.61	199.27	1962.85	3.95
CH3	36.58	25.87	15130.37	25.33	144.12	23.17	196.44	2240.82	5.07

*Concentraciones expresadas en ng/g

†Concentraciones expresadas en µg/g

Anexo 4. Concentraciones de metales en diferentes tejidos y estudios realizados con especies de cocodrilianos.

<i>Especie</i>	<i>Ubicación</i>	<i>n</i>	<i>Tejido</i>	<i>As*</i>	<i>Cd*</i>	<i>Hg*</i>	<i>Zn†</i>	<i>Cu†</i>	<i>Referencia</i>
<i>C. moreletii</i>	Lago de Catemaco, Veracruz	23	escamas caudales	316.65 ± 337.69	9.71 ± 15.83	208.24 ± 488.36	57.96 ± 68.88	1104.46 ± 1445.93	Presente estudio
<i>C. moreletii</i>	Pucté, Río Hondo	9	escamas caudales		11.7 ± 5.7	260.7 ± 164.8			Buenfil-Rojas et al., 2015
<i>C. moreletii</i>	Cocoyol, Río Hondo	7	escamas caudales		85.2 ± 83.6	232.8 ± 100.7			Buenfil-Rojas et al., 2015
<i>C. moreletii</i>	La Unión, Río Hondo	8	escamas caudales		26.3 ± 15.8	561.63 ± 635.6			Buenfil-Rojas et al., 2015
<i>C. moreletii</i>	Campeche, México	92	escamas caudales	264.5 ± 354.3		5494.1 ± 8376			Trillanes et al., 2014
<i>C. moreletii</i>	Gold B. Lagoon, Belice	9	escamas caudales	ND	ND	98.7 ± 21.6	ND	346 ± 89.8	Rainwater et al., 2007
<i>C. moreletii</i>	New River W., Belice	10	escamas caudales	ND	70.7 ± 45.7	72.7 ± 20.4	ND	451.8 ± 38	Rainwater et al., 2007
<i>C. acutus</i>	Río Grande, Costa Rica	6	escamas caudales	ND	337.5 ± 312.5	93.5 ± 27	4140.2 ± 544.7	125 ± 67.8	Rainwater et al., 2007
<i>C. porosus</i>	Kakadu National Park, Australia	40	osteoderms						Jeffree et al., 2005
<i>C. johnstoni</i>	Lynd River, Australia	30	osteoderms						Jeffree et al., 2005
<i>A. mississippiensis</i>	3 Lakes, Florida	22	punta cola	85.5 ± 20.4		195.3 ± 33			Burger et al., 2000
<i>A. mississippiensis</i>	Okefenokee, Georgia	9	escamas			.29 ± .03			Jago et al., 1998
<i>A. mississippiensis</i>	Everglades, Florida	18	punta cola			5120 ± 1010 - 6330 ± 1040			Yanochko et al., 1997
<i>A. mississippiensis</i>	Savannah River, South Carolina	44	punta cola			4580 ± 630			Yanochko et al., 1997

*Concentraciones expresadas en ng/g

†Concentraciones expresadas en µg/g