

METALES PESADOS EN ESCAMAS CAUDALES DE *Crocodylus moreletii* EN LA PORCIÓN SUR DE LA SELVA LACANDONA, CHIAPAS, MÉXICO

Heavy metals in caudal scales of *Crocodylus moreletii* in the southern portion of the Lacandona jungle, Chiapas, Mexico

José Manuel ARANDA-COELLO^{1,2}, Oscar Miguel MENDOZA-VELÁZQUEZ^{2*} y Carlos GUTIÉRREZ-OLVERA³

¹ Natura y Ecosistemas Mexicanos, Plaza San Jacinto 23-D, San Ángel, 01000 Ciudad de México, México.

² Red Mesoamericana y del Caribe para la Conservación de Anfibios y Reptiles (Red MesoHerp), Av. Lomas del Jaguar 150, 29010 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

³ Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México.

*Autor para correspondencia: mevo9611@gmail.com

(Recibido: junio de 2021; aceptado: abril de 2022)

Palabras clave: conservación, cocodrilo de pantano, contaminantes, bioacumulación, contaminación ambiental, ecotoxicología

RESUMEN

Los metales pesados son considerados como los principales contaminantes de acuíferos debido a su alta toxicidad, persistencia y movilidad; afectan importantes cargas hidráulicas como lagunas y canales de irrigación, y por sus propiedades físicas y químicas no son biodegradables y pueden llegar a ser tóxicos para vertebrados e invertebrados. El objetivo de este estudio fue determinar la presencia de metales pesados en la población de *Crocodylus moreletii* que habita en la porción sur del río Lacantún en la selva Lacandona. Se recolectaron muestras de escamas caudales mediante capturas manuales y con apoyo de lazos tipo Thompson de marzo del 2018 a febrero del 2019 en 23 km de la subcuenca media del río, en la Reserva de la Biosfera Montes Azules (REBIMA). En el laboratorio, se determinó por espectroscopia de absorción atómica con flama la presencia de los metales plomo (Pb), cadmio (Cd), cobre (Cu) y zinc (Zn), y por generación de hidruros el metal mercurio (Hg) y el metaloide arsénico (As). Con estos resultados se infiere que los contaminantes presentes en las escamas caudales de *C. moreletii* en los tres sitios muestreados son indicativos de fuentes puntuales de contaminación para la zona limítrofe sur de la REBIMA dentro del complejo conocido como Selva Lacandona.

Key words: conservation, Morelet's crocodile, pollutants, bioaccumulation, environmental pollution, ecotoxicology.

ABSTRACT

Heavy metals are the main contaminants of aquifers due to their high toxicity, persistence, and mobility; they affect important hydraulic loads, such as lagoons and irrigation canals, and due to their physical and chemical properties, they are not biodegradable

and can become toxic to vertebrates and invertebrates. The objective of this study was to determine the presence of heavy metals in the population of *Crocodylus moreletii* inhabiting the southern portion of the Lacantun River in the Lacandon jungle. Samples of caudal scales were collected by manual captures and with Thompson snares from March 2018 to February 2019 in 23 km of the middle sub-basin of the Lacantun River in the Montes Azules Biosphere Reserve (REBIMA). Subsequently, the presence of heavy metals such as lead (Pb), cadmium (Cd), copper (Cu) and zinc (Zn) was determined using the atomic absorption spectroscopy by flame technique, while for mercury (Hg) and the metalloid arsenic (As) by atomic absorption spectroscopy by hydride generation. With these results, we infer that the pollutants present in the caudal scales of *C. moreletii* at the three sites sampled are indicative of point sources of contamination for the southern border zone of the REBIMA within the complex known as Selva Lacandona.

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son considerados como los principales contaminantes de acuíferos debido a su alta toxicidad, persistencia y movilidad. Al no ser biodegradables, pueden llegar a ser tóxicos para vertebrados e invertebrados (Heaton-Jones et al. 1997, Johansson y Hirata 2002, Álvarez-Porebski et al. 2015).

En los últimos 50 años se ha registrado un aumento en la contaminación de los ecosistemas terrestres y acuáticos (Schneider et al. 2013, Buenfil-Rojas et al. 2015) a causa de las actividades agrícolas y aguas residuales no tratadas del sur y sureste de México, generando una preocupación por el fuerte impacto que han tenido (Defew et al. 2005). Aunado a ello, en el resto del país y el mundo, se ha documentado que la contaminación por metales pesados ha sido ocasionada por la minería, subproductos de procesos industriales, la quema de desechos orgánicos, el transporte y la generación de energía (Agarwal 2009).

En especies como *Alligator mississippiensis*, *Caiman* spp., *Crocodylus moreletii* y *Paleosuchus trigonatus* se han realizado estudios en diversos tejidos como sangre, músculo, piel, garras y escudos caudales (Delany et al. 1988, Burger et al. 2000, DeBusk 2001, Trillanes et al. 2014, Buenfil-Rojas et al. 2015, 2018, Marrugo-Negrete et al. 2019, Lemaire et al. 2021); asimismo, en órganos como el hígado (Campbell et al. 2010) y en huevos (Rainwater et al. 2002, Xu et al. 2006) para comprender el efecto que tienen los contaminantes en la salud de las poblaciones.

En el caso del cocodrilo de pantano (*C. moreletii*), estudios como el de Buenfil-Rojas et al. (2020) han subrayado la importancia de evaluar la exposición a metales pesados en poblaciones de cocodrilos a través de los tejidos queratinizados (e.g., escamas), debido a su importancia en la estrategia de desintoxicación

de cocodrilos. Asimismo, Cedillo-Leal et al. (2018) encuentran que las variaciones en las concentraciones de metales pesados (cadmio, cromo, plomo) en los huevos afectan simultáneamente a los cocodrilos durante la temporada reproductiva en la laguna El Carpintero en Tamaulipas, México.

Rainwater et al. (2002, 2007) reportaron concentraciones de Hg, Cd, Cu, Pb y Zn de animales muestreados en el norte de Belice; asimismo, Buenfil-Rojas et al. (2015) determinaron la presencia de Cd y Hg en plasma sanguíneo y en crestas caudales de *C. moreletii* en Río Hondo al sureste de la Península de Yucatán, México, y Trillanes et al. (2014) observaron la presencia de metales en escudos caudales de *C. moreletii* en cautiverio y especímenes en libertad en el estado de Campeche, al sur del Golfo de México.

En el caso de la selva Lacandona, sólo existe un reporte de contaminación de metales pesados en los afluentes del río Lacantun (Álvarez-Porebski et al. 2015), aunque se desconoce si dichos metales están presentes en las poblaciones acuáticas silvestres, como en el caso del *C. moreletii*. Por lo tanto, hasta ahora se realiza un estudio sobre la presencia de metales pesados en la población de *C. moreletii* que habita en la porción sur del río Lacantun en la selva Lacandona.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la subcuenca media del río Lacantun, ubicada entre las coordenadas geográficas 16° 14' 26.51" N y 90° 51' 24.43" W - 16° 20' 23.61" N y 90° 46' 24.46" W, así como en la laguna Jabirú, ubicada en las coordenadas geográficas 16° 24' 13.86" N y 90° 45' 28.95" W. El área de estudio tiene una altitud de 130 a 400 msnm y vegetación predominante de selva alta perennifolia, clima cálido húmedo y temperatura media anual de 22 °C (Carabias

et al. 2015). Ambas lagunas están localizadas en la zona limítrofe sur de la Reserva de la Biosfera Montes Azules (REBIMA) dentro del complejo conocido como Selva Lacandona (**Fig. 1**).

Se recolectaron muestras de escamas caudales de marzo de 2018 a febrero de 2019 en 23 km de la sub-cuenca media del río Lacantún (Lc), la cual se dividió en dos transectos de 11.5 km cada uno, nombrándolos Lacantún 1 (Lc1) y Lacantún 2 (Lc2). En cuanto a la Laguna Jabirú (Lj), se realizaron recorridos en toda su periferia. Usando el método tradicional (Messel et al. 1981), se localizó a los animales en la noche por el brillo de sus ojos. Una vez localizados se realizó la captura de ejemplares sujetando con la mano a individuos menores de 60 cm, y para tallas más grandes o animales ubicados en áreas de difícil acceso, se utilizaron lazos tipo Thompson y pértigas de 6 m de largo con una soga insertada y sujeta por un pedazo de manquera industrial (Aranda-Coello 2017).

Una vez capturados, mediante el corte con una navaja previamente esterilizada y sujetadas con una pinza recta hemostática de 22 cm, se obtuvieron las muestras de las escamas caudales de cada individuo, las cuales se depositaron en un frasco de polipropileno con tapa esterilizada y se almacenaron en hielo a $\approx 4^\circ\text{C}$. Posteriormente se midió la longitud total (LT), peso y sexo de cada animal. Para asignar etapas de

desarrollo, se utilizaron categorías (etapa de vida) definidas arbitrariamente: clase I, crías ($LT \leq 500$ mm); clase II, juveniles ($500 \text{ mm} < LT \leq 1000$ mm); clase III, subadultos ($1000 \text{ mm} < LT \leq 1500$ mm), y clase IV, adultos ($LT > 1500$ mm) (Platt et al. 2009).

Todo el proceso de manejo para la toma de datos y el método para la obtención de la muestra, fueron llevados a cabo con el número de permiso de colecta SGPA/DGVS/002467/18, y con base en un protocolo de trato ético y respetuoso a cada ejemplar vivo, procurando siempre su integridad.

Después se siguió el procedimiento propuesto por Reséndiz (2012) en el laboratorio, con adecuaciones en el proceso de homogenización y digestión de las muestras, las cuales se describen a continuación: las escamas fueron finamente cortadas con un bisturí, para posteriormente homogeneizarlas con un mortero de porcelana. Se pesaron 0.5 g de cada muestra por duplicado y se procedió a ponerlas en tubos de ensayo, donde se les sometió a digestión húmeda ácida. A cada tubo se le agregaron 10 mL de ácido nítrico (HNO_3) y se dejaron en reposo por aproximadamente 12 h. Pasado ese tiempo, se les agregó 1 mL de peróxido de nitrógeno (H_2O_2) y se colocaron en baño María para acelerar la reacción. Las soluciones obtenidas del proceso de digestión fueron aforadas a un volumen conocido (50 mL) con agua desionizada

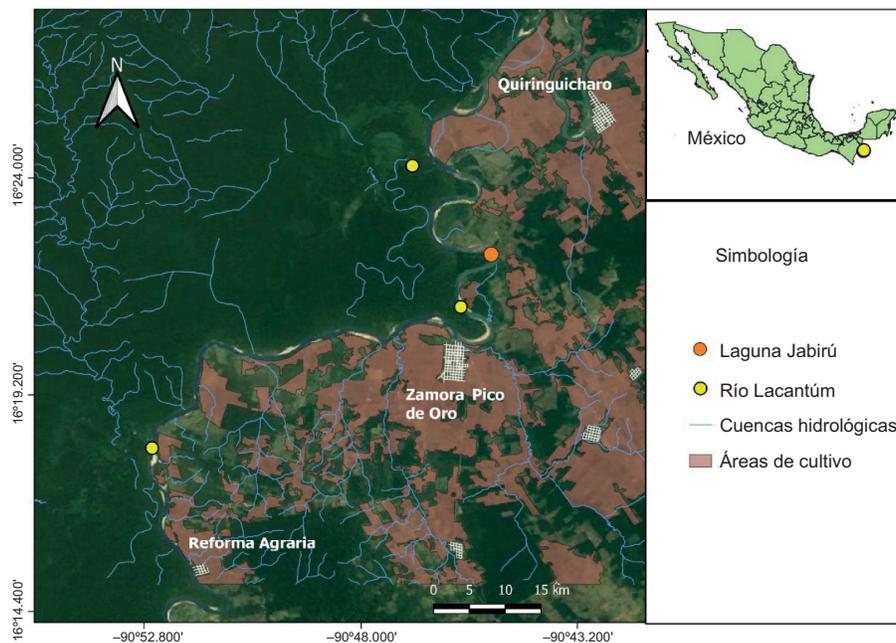


Fig. 1. Zona de estudio. Los puntos amarillos indican el inicio de cada transecto en el río Lacantún, mientras que el punto naranja señala la ubicación de la Laguna Jabirú. Conjunto de datos topográficos del INEGI a escala 1:50.000.

y se almacenaron en frascos de polietileno con tapón de rosca hasta su determinación por espectrofotometría de absorción atómica.

Se usaron muestras blanco con agua desionizada para ajustar el equipo (absorbancia = 0). La concentración de metales pesados se calculó a partir de una curva patrón preparada con una solución estándar del metal pesado a 1000 ppm, según el metal a determinar (Iturbe y Sandoval 2011). Se utilizaron soluciones estándar certificadas por Sigma-Aldrich.

Se obtuvieron la ecuación de la recta y la regresión lineal; para mayor confiabilidad en el análisis, el valor de R^2 debía ser lo más cercano a 1. Las condiciones de análisis de los metales pesados fueron las recomendadas por el manual de operación del fabricante de cada equipo; por ejemplo, los límites de detección en ppm (partes por millón) fueron: Pb = 0.19, Cd = 0.028, Cu = 0.077, Zn = 0.018, Hg = 4.2 y As = 1.0.

El límite de cuantificación se calculó considerando tamaño de muestra, factor de dilución y alícuota de la muestra diluida. El Pb, Cd, Cu y Zn se determinaron por espectroscopia de absorción atómica con flama en un espectrómetro Perkin Elmer 3110, mientras que para el Hg y el As se empleó espectroscopia de absorción atómica por generación de hidruros en un espectrómetro Analyst 100 Perkin Elmer. Cada muestra se analizó por triplicado y el coeficiente de variación fue menor al 10 %.

Para evaluar las diferencias en las concentraciones de los metales entre sexos, etapas de desarrollo o sitios de muestreo, se emplearon pruebas de Kruskal-Wallis. Asimismo, se realizaron correlaciones de Spearman de las concentraciones de cada metal en función de la longitud total (LT), con el programa PAST (PAleontological STatistics Software) v. 3.20. Por último, los datos obtenidos fueron graficados en el programa RStudio versión 1.4.1717 (RStudio Team 2021).

RESULTADOS

Se capturaron un total de 23 cocodrilos para los tres sitios de muestreo, de los cuales cuatro fueron del transecto Lc1 (tres machos y una hembra), seis del transecto Lc2 (tres machos y tres hembras) y 13 en la laguna Lj (cuatro machos y nueve hembras). El rango de tamaño fue de 44.20 a 226.00 cm, con un promedio de 112.49 ± 55.13 cm (LT) para los tres transectos Lc1 (un juvenil, dos subadultos y un adulto), Lc2 (dos subadultos y cuatro adultos) y Lj (tres crías, ocho juveniles, un subadulto y un adulto).

Por otra parte, en las escamas caudales de *C. moreletii* se detectó la presencia de los cinco metales analizados: Pb, Cd, Hg, Zn y Cu, y el metaloide As. Pb, Cd, Hg, As y Zn fueron detectados en el 100 % de las muestras ($n = 23$) y Cu en el 95.6 % ($n = 22$), como se puede observar en el **cuadro I**.

No se encontró una correlación entre la longitud total (LT) y la concentración de metales. Por otro lado, las concentraciones de plomo (Kruskal-Wallis, $H = 13.55$, $P < 0.05$), arsénico (Kruskal-Wallis, $H = 4.8$, $P < 0.05$) y zinc (Kruskal-Wallis, $H = 7.89$, $P < 0.05$) fueron significativamente más elevadas en Lj, mientras que las concentraciones de cadmio y cobre no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres sitios (Kruskal-Wallis, $F = 3.42$, $P > 0.05$; Kruskal-Wallis, $H = 3.5$, $P > 0.05$). Las concentraciones de mercurio fueron significativamente más elevadas en Lc1 (Kruskal-Wallis, $H = 9.29$, $P < 0.05$) (**Fig. 2**).

Aunado a ello, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa en la concentración de cada uno de los metales entre sexos. En cuanto a la concentración y el estado de desarrollo, las concentraciones de Pb fueron significativamente más elevadas en las crías (Kruskal-Wallis, $H = 12.8$, $P < 0.05$); sin embargo, las concentraciones de los siguientes metales no presentaron diferencias significativas: Cd: Kruskal-Wallis, $F = 0.3627$, $P > 0.05$; Hg: Kruskal-Wallis, $H = 2.5$, $P > 0.05$; As: Kruskal-Wallis, $H = 7.20$, $P > 0.05$, y Cu: Kruskal-Wallis, $H = 1.32$, $P > 0.05$. Mientras que las concentraciones de Zn fueron más bajas en adultos: Kruskal-Wallis, $H = 8.75$, $P < 0.05$ (**Fig. 3**).

DISCUSIÓN

La presencia de As, Hg y Cd registrada para la laguna Jibirú (Lj) podría deberse a que: 1) son los elementos tóxicos más abundantes en el ambiente y la forma de incorporación al agua resulta de procesos naturales y 2) su presencia y concentración es consecuencia de las actividades antrópicas (e.g., la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, entre otros) (Mardirosian 2015). Aunado a ello, la presencia de estos elementos podría deberse a la migración de las presas de los cocodrilos (proceso que se conoce como biotransporte) y, dado que la laguna es un área de concentración de fauna (particularmente peces, anfibios, tortugas y aves acuáticas), esto podría explicar la presencia de As, Pb y Zn en las escamas caudales de *C. moreletii* muestreados en el sitio.

Asimismo, Lemaire et al. (2021) mencionan que el Hg y otros metales pesados se transfieren por vía

CUADRO I. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE METALES PESADOS EN VALORES DE PESO HÚMEDO POR TRANSECTO DE RÍO MUESTREADO, ASÍ COMO DATOS DE TALLA Y SEXO EN EL RIO LACANTÚN (LC1-LC2) Y LA LAGUNA JABIRÚ (LJ) DENTRO DE LA ZONA LÍMITROFE SUR DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA MONTES AZULES, EN EL COMPLEJO CONOCIDO COMO SELVA LACANDONA, CHIAPAS, MÉXICO*.

Localidad	Total	Lc1	Lc2	Lj
n	23	4	6	13
Machos:hembras	10:13	3:1	3:3	4:9
Talla máxima (cm)	226	177	207	226
Talla mínima (cm)	44.2	89	125	44.2
Talla media (cm)	112.49	125.25	163.17	85.17
Pb (n)	23	4	6	13
Pb (media ± DE)	38.19 ± 12.92	33.11 ± 7.89	23.74 ± 6.28	46.42 ± 9.37
Cd (n)	23	4	6	13
Cd (media ± DE)	11.64 ± 3.26	8.19 ± 2.42	11.89 ± 4.46	12.58 ± 2.18
Hg (n)	23	4	6	13
Hg (media ± DE)	0.8277 ± 0.3101	1.3166 ± 0.2506	0.7857 ± 0.0756	0.6966 ± 0.2429
As (n)	23	4	6	13
As (media ± DE)	1.8723 ± 0.6637	1.3456 ± 0.2107	1.4039 ± 0.2240	2.2505 ± 0.6469
Cu (n)	22	4	5	13
Cu (media ± DE)	16.12 ± 22.93	9.21 ± 1.64	20.33 ± 42.27	16.30 ± 13.92
Zn (n)	23	4	6	13
Zn (media ± DE)	37.11 ± 17.03	28.25 ± 3.71	24.30 ± 3.71	45.74 ± 18.34

*Todas las concentraciones se presentan en µg/g.
DE: desviación estándar.

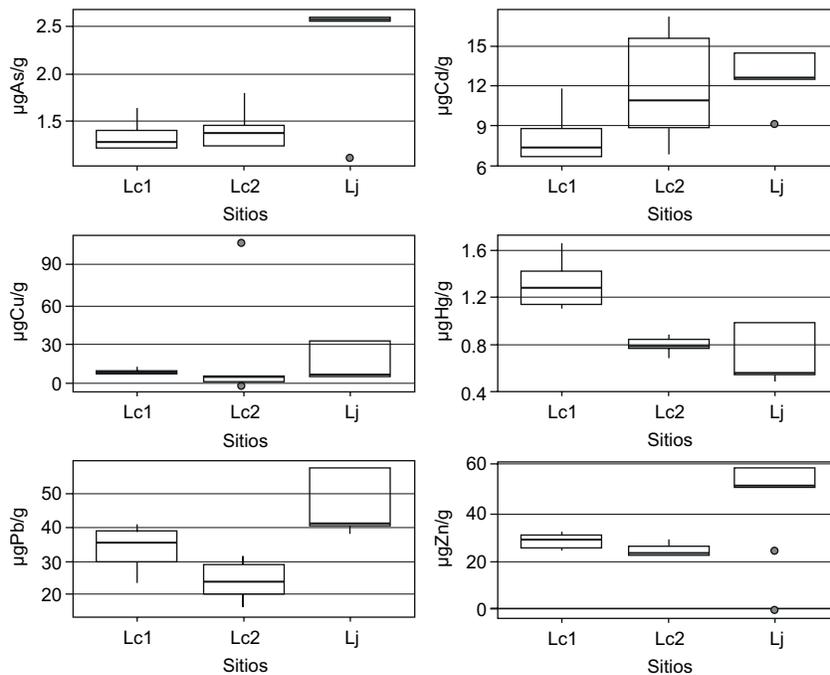


Fig. 2. Concentración de metales pesados en escamas caudales de *Crocodylus moreletii* por sitio de muestreo. Lc1: Lacantún 1; Lc2: Lacantún 2; Lj: Laguna Jabirú. Las concentraciones de Pb, As y Zn fueron significativamente más elevadas en la Laguna Jabirú, mientras que el Hg en Lacantún 1. Los puntos negros representan los valores atípicos y las barras la varianza.

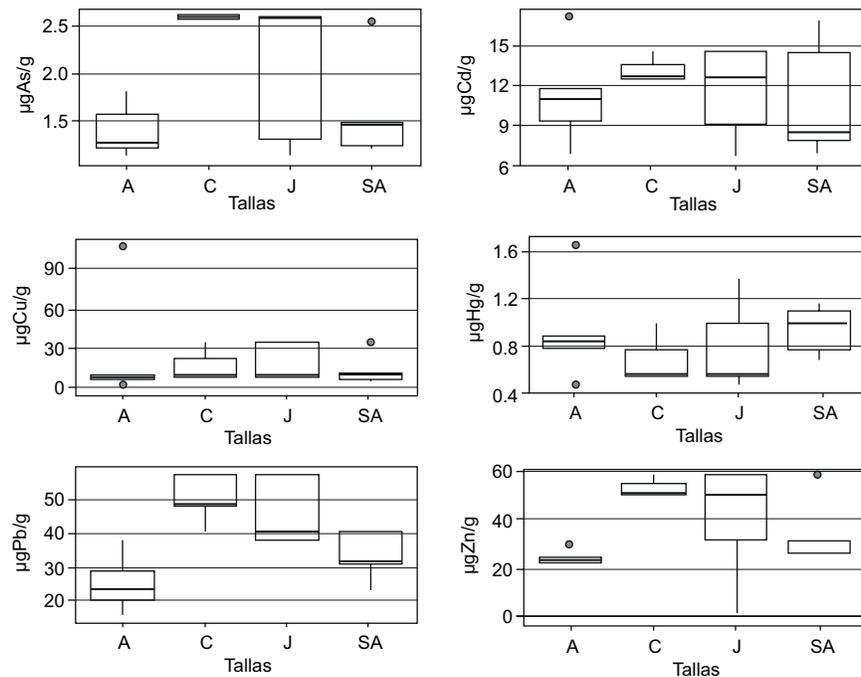


Fig. 3. Concentración de metales pesados en escamas caudales de *Crocodylus moreletii* por estado de desarrollo. En las gráficas se usa el termino tallas para hacer referencia al estado de desarrollo (A: adulto; C: cria; J: juvenil; SA: subadulto). Los puntos negros representan los valores atípicos y las barras la varianza.

materna a la progenie, siendo ésta una de las fuentes particulares de contaminación. Lo anterior podría estar asociado a la concentración de metales registrados en las crías y juveniles en la Lj, volviendo a estas cohortes más susceptibles a presentar una acumulación a temprana edad (Rauschenberger et al. 2004, Stoker et al. 2011).

Por lo tanto, el ciclo de vida puede influir en la bioacumulación debido al consumo de alimento contaminado y las tasas de crecimiento, la duración de la exposición (edad del individuo) y los ciclos reproductivos (Humphries et al. 2021), pero sobre todo al tamaño, que puede ser un factor de mucha mayor relevancia como afirman Lemaire et al. (2021) quienes mencionan que las concentraciones pueden aumentar con el tamaño del cuerpo, lo que a su vez se relaciona con el nivel trófico de los cocodrilos.

Mientras que algunos metales pesados como el Cd, el Pb y el Hg están presentes en los organismos como consecuencia exclusivamente de la contaminación ambiental, son tóxicos y no tienen funciones biológicas establecidas, otros como el Zn y el Cu desempeñan numerosas funciones metabólicas dentro de los rangos de concentraciones fisiológicas, resultando tóxicos si son superadas las acumulaciones regulables por los sistemas biológicos (Pérez 1994).

Por otra parte, la concentración más elevada de Hg se presentó en el transecto Lc1 del río Lacantún (**cuadro II**), lo que probablemente corresponda a que, en esa parte del río prevalece una fuerte dependencia del uso de agroquímicos para la producción agrícola y para el manejo de ectoparásitos en la ganadería (Mendoza-Velázquez 2020). Aunado a ello, ahí se llevan a cabo recorridos ecoturísticos todo el año con lanchas motorizadas, aunque esto último está más asociado con la presencia de Pb. El uso de combustible y aditivos para las lanchas motorizadas es un factor que interviene directamente en la presencia de Hg, ya que tanto el Pb como el Hg son un desecho de la combustión del petróleo (Loumbourdis y Wray 1998).

Con estos resultados, se infiere que los contaminantes presentes en las escamas caudales de *C. moreletii* en los tres sitios muestreados son indicativos de varias fuentes de contaminación en la zona limítrofe sur de la REBIMA, lo cual refuerza las conclusiones de Buenfil-Rojas et al. (2020) sobre la importancia de los tejidos epidérmicos dentro de la estrategia de desintoxicación de los cocodrilos; por lo tanto, estudiar las escamas caudales como indicadores adecuados de exposición crónica a metales es una fuente confiable para la detección de los mismos.

CUADRO II. CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS DE TRABAJOS ANTERIORES SOBRE ESCAMAS CAUDALES EN *Crocodylus moreletii**.

Localidad	n	Pb	Cd	Hg	As	Cu	Zn	Referencia
Gold B. Lagoon, Belize	9			0.0987 ± 0.0216				Rainwater et al. (2007)
New River Watershed, Belize	10		0.0707 ± 0.0457	0.0727 ± 0.0204				Rainwater et al. (2007)
UMA BPC,	27	3.71 ± 3.68		2.05 ± 3.50	0.017 ± 0.013			Trillares et al. (2014)
UMA SCWA	22	2.63 ± 1.05		2.55 ± 1.11	0.088 ± 0.085			Trillares et al. (2014)
UMA CDP	20	7.61 ± 6.32		1.68 ± 1.08	0.086 ± 0.074			Trillares et al. (2014)
RCH	7	16.79 ± 11.84		0.82 ± 0.42	0.203 ± 0.214			Trillares et al. (2014)
LMS	6	4.58 ± 2.68		1.82 ± 0.11	0.03 ± 0.022			Trillares et al. (2014)
RPBC	10	17.05 ± 15.21		1.13 ± 0.71	0.071 ± 0.093			Trillares et al. (2014)
Pucte, Río Hondo	9		0.0117 ± 0.0057	0.2607 ± 0.1648				Buenfil-Rojas et al. (2015)
Cocoyol, Río Hondo	7		0.0852 ± 0.0836	0.2328 ± 0.1007				Buenfil-Rojas et al. (2015)
La Unión, Río Hondo	8		0.0263 ± 0.0158	0.56163 ± 0.6356				Buenfil-Rojas et al. (2015)
Theme Park	21		4.58 ± 3.25	0.15 ± 0.11			42.02 ± 97.15	Buenfil-Rojas et al. (2020)
Chichankanab	13		8.25 ± 7.83	0.25 ± 0.24		44.11 ± 18.78	24.47 ± 18.30	Buenfil-Rojas et al. (2020)
Río Hondo	10		3.71 ± 2.19	0.40 ± 0.44		27.75 ± 13.86	22.14 ± 34.13	Buenfil-Rojas et al. (2020)
Nichupte-Bojorquez	3		14.99 ± 5.12	0.43 ± 0.21		25.16 ± 12.19	86.86 ± 139.51	Buenfil-Rojas et al. (2020)
Laguna Guerrero	3		-	0.61 ± 0.38		58.66 ± 19.56	11.24 ± 4.91	Buenfil-Rojas et al. (2020)
Lc1	4	33.11 ± 7.89	8.19 ± 2.42	1.3166 ± 0.2506	1.3456 ± 0.2107	41.73 ± 14.46	28.25 ± 3.71	Este estudio
Lc2	6	23.74 ± 6.28	11.89 ± 4.46	0.7857 ± 0.0756	1.4039 ± 0.2240	9.21 ± 1.64	24.30 ± 3.71	Este estudio
Lj	13	46.42 ± 9.37	12.58 ± 2.18	0.6966 ± 0.2429	2.2505 ± 0.6469	20.33 ± 42.27	45.74 ± 18.34	Este estudio

*Todos los datos se presentan en promedio de peso húmedo ($\mu\text{g/g}$) ± desviación estándar. Los datos originales se convirtieron en peso húmedo para fines de comparación, dividiendo el valor de referencia entre el factor de conversión de 3.8 Jeffrey et al. (2001).

UMA: unidad de manejo ambiental; BPC: Biosistemas Productivos Cocodrilo; SCWA: Sociedad Cooperativa Wotoch-Aayin; CDP: cocodrilos de palizada; RCH: Río Champotón; LMS: Lagunas de Mocu y Silvituc; RBPC: Reserva de la Biosfera Los Petenes Celestún; Lc1: Lacantún 1; Lc2: Lacantún 2; Lj: Laguna Jabirú.

CONCLUSIONES

La presencia de Hg, Pb, Cd, As, Cu y Zn en escamas caudales de *C. moreletii* parece estar relacionada con el efecto de las actividades antrópicas en la región, sobre todo en zonas con crecimiento poblacional donde el uso de lanchas es más constante a lo largo del año.

Por lo tanto, consideramos que la presencia de metales pesados puede representar un riesgo importante para la salud de la población de *C. moreletii*, así como para los ecosistemas acuáticos (e.g., ríos, lagunas). Como resultado de lo anterior, en esta investigación queremos planear, rectificar y consolidar las acciones de conservación para *C. moreletii* en la Selva Lacandona que realiza Natura y Ecosistemas Mexicanos.

AGRADECIMIENTOS

A la Alianza WWF-Fundación Carlos Slim por el financiamiento otorgado para llevar a cabo este estudio. Asimismo, a todo el equipo de Natura Mexicana, al Laboratorio de Bromatología y Toxicología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, en especial al Dr. Juan Carlos Ramírez Orejel, así como al Biól. Aarón Gómez Cruz y a todos los estudiantes voluntarios que nos acompañaron en las diferentes salidas de campo.

REFERENCIAS

- Agarwal S.K. (2009). Heavy metal pollution. A. P. H. Publishing Corporation, Nueva Delhi, India, 270 pp.
- Álvarez-Porebski P., Hernández G.L., Gómez-Ruiz H. y Ramírez-Martínez C. (2015). Calidad del agua en la subcuenca del Río Lacantún. En: Conservación y desarrollo sustentable en la Selva Lacandona. 25 años de actividades y experiencias (Carabias J., de la Maza J. y Cadena R., Eds.). Redacta, Ciudad de México, México, 261-273.
- Aranda-Coello J.M. (2017). Cambios en la estructura poblacional del caimán, *Caiman crocodylus* (Crocodylia: Alligatoridae) y su posible relación con el cambio climático, en Caño Negro, Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED 9 (1), 151-155.
- 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 Mexico and Belize. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 68 (2), 265-273. <https://doi.org/10.1007/s00244-014-0088-5>
- Buenfil-Rojas A.M., Álvarez-Legorreta T. y Cedeño-Vázquez J.R. (2018). Mercury and metallothioneins in blood fractions and tissues of captive Morelet's crocodiles in Quintana Roo, Mexico. Chemosphere 199, 630-636. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.111> 0045-6535
- Buenfil-Rojas A.M., Álvarez-Legorreta T., Cedeño-Vázquez J.R., Rendón-von Osten J. y González-Jáuregui M. (2020). Distribution of metals in tissues of captive and wild Morelet's crocodiles and the potential of metallothioneins in blood fractions as a biomarker of metal exposure. Chemosphere 244, 125551. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125551>
- Burger J., Gochfeld M., Rooney A.A., Orlando E.F., Woodward A.R. y Guillette L.J. (2000). Metals and metalloids in tissues of American alligators in three Florida lakes. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 38 (4), 501-508. <https://doi.org/10.1007/s002440010066>
- Cedillo-Leal C.N., Cienfuegos-Rivas E. y Escobedo-Galván A.H. (2018). High levels of heavy metals in scutes and eggs of Morelet's crocodiles (*Crocodylus moreletii*) from northeast Mexico. The Southwestern Naturalist 63 (1), 71-74 <https://doi.org/10.1894/0038-4909.63.71>
- 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. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-46.4.1234>
- Carabias L.J., de la Maza E.J. y Cadena R. (2015). Conservación y desarrollo sustentable en la Selva Lacandona. 25 años de actividades y experiencias. Redacta, Ciudad de México, México, 694 pp.
- DeBusk B.E. (2001). Assessment of organochlorine pesticide residues in scutes from Morelet's crocodiles (*Crocodylus moreletii*) inhabiting Belize. Tesis de Doctorado. Texas Tech University, Texas, EUA, 118 pp.
- Defew L.H., Mair J.M. y Guzmán H.M. (2005). An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. Marine Pollution Bulletin 50 (5), 547-552. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.11.047>
- Delany M.F., Bell J.U. y Sundlof S.F. (1988). Concentrations of contaminants in muscle of the American alligator in Florida. Journal of Wildlife Diseases 24 (1), 62-66. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-24.1.62>
- Heaton-Jones T.G., Homer B.L., Heaton-Jones D.L. y Sundlof S.F. (1997). Mercury distribution in American alligators (*Alligator mississippiensis*) in Florida. Journal of Zoo and Wildlife Medicine 28 (1), 62-70.

- Humphries M.S., Myburgh J.G., Campbell R., Buah-Kwofie A. y Combrink X. (2021). Organochlorine pesticide bioaccumulation in wild Nile crocodile (*Crocodylus niloticus*) fat tissues: Environmental influences on changing residue levels and contaminant profiles. *Science of The Total Environment* 753, 142068. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142068>
- Iturbe F. y Sandoval J. (2011). Manual de análisis de alimentos, fundamentos y técnicas. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México, 74 pp.
- Jeffrey R.A., Markich S.J. y Twining J.R. (2001). Element concentrations in the flesh and osteoderms of estuarine crocodiles (*Crocodylus porosus*) from the Alligator Rivers region, northern Australia: Biotic and geographic effects. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 40, 236–245. <https://doi.org/10.1007/s002440010168>
- Johansson P.O. e Hirata R. (2002). Rating of groundwater contamination sources. En: *Groundwater contaminant inventory: A methodological guide*. (Zaporozec A., Ed.). UNESCO, Wisconsin, EUA, 63-74 pp.
- Lemaire J., Marquis O., Bustamante P., Mangione R. y Brischoux F. (2021). I got it from my mother: Inter-est variation of mercury concentration in neonate smooth-fronted caiman (*Paleosuchus trigonatus*) suggests maternal transfer and possible phenotypical effects. *Environmental Research* 194, 110494. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110494>
- Loumbourdis N.S. y Wray D. (1998). Heavy-metal concentration in the frog *Rana ridibunda* from a small river of Macedonia, Northern Greece. *Environment International* 24 (4), 427-431. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(98\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(98)00021-X)
- Mardirosian M.N. (2015). Ecotoxicología del arsénico y mecanismos de acción en el desarrollo del anfibio *Rhinella arenarum*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 173 pp.
- Marrugo-Negrete J., Durango-Hernández J., Calao-Ramos C., Urango-Cárdenas I. y Díez S. (2019). Mercury levels and genotoxic effect in caimans from tropical ecosystems impacted by gold mining. *Science of the Total Environment* 664, 899-907. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.340>
- Mendoza-Velázquez O.M. (2020). Presencia de minerales contaminantes en anuros de la porción sur de la Selva Lacandona, Chiapas. México. Tesis de Licenciatura. Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Chiapas, México, 67 pp. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35226.77761>
- Messel H., Vorlicek G.C., Wells A.C. y Green W.J. (1981). Surveys of tidal river systems in the northern territory of Australia and their crocodile populations. U.S. Department of Energy, Nueva York, EUA, 294 pp.
- Platt S.G., Rainwater T.R., Thorbjarnarson J.B., Finger A.G., Anderson T.A. y McMurry S. T. (2009). Size estimation, morphometrics, sex ratio, sexual size dimorphism, and biomass of Morelet's crocodile in northern Belize. *Caribbean Journal of Science* 45 (1), 80-93. <https://doi.org/10.18475/cjos.v45i1.a12>
- Pérez C.C.S. (1994). Efectos de los metales pesados en *Bufo arenarum*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 61 pp.
- 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* 324 (3), 319-324. <https://doi.org/10.1007/s00244-001-0020-7>
- Rainwater T.R., Wu T.H., Finger A.G., Cañas J.E., Yu L., Reynolds K.D. y McMurry S.T. (2007). Metals and organochlorine pesticides in caudal scutes of crocodiles from Belize and Costa Rica. *Science of the Total Environment* 373 (1), 146-156. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.11.010>
- Rauschenberger R.H., Sepúlveda M.S., Wiebe J.J., Szabo N.J. y Gross T.S. (2004). Predicting maternal body burdens of organochlorine pesticides from eggs and evidence of maternal transfer in *Alligator mississippiensis*. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 23 (12), 2906-2915. <https://doi.org/10.1897/03-584.1>
- Reséndiz G.A.G. (2012). Perfil de macro y microminerales en *Elsenia foetida* dependiendo de tres sustratos utilizados para su alimentación. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de México, Distrito Federal, México, 38 pp.
- RStudio Team (2021). RStudio: Integrated development for R. RStudio, PBC, Boston, USA [en línea]. <http://www.rstudio.com/> 15/06/2020
- Schneider L., Maher W., Green A. y Vogt R.C. (2013). Mercury contamination in reptiles: an emerging problem with consequences for wildlife and human health. En: *Mercury: Sources, applications and health impacts* (Kim K.H. y Brown R.J.C., Eds.). Nova Science Publishers, Nueva York, EUA, 173-232.
- Stoker C., Repetti M.R., García S.R., Zayas M.A., Galoppo G.H., Beldoménico H.R. y Muñoz-de-Toro M. (2011). Organochlorine compound residues in the eggs of broad-snouted caimans (*Caiman latirostris*) and correlation with measures of reproductive performance. *Chemosphere* 84 (3), 311-317. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.04.013>

- 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 Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 93 (4), 423-428. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1349-8>
- Xu Q., Fang S., Wang Z. y Wang Z. (2006). Heavy metal distribution in tissues and eggs of Chinese alligator (*Alligator sinensis*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 50 (4), 580-586. <https://doi.org/10.1007/s00244-005-1018-3>