

PRESENCIA DE METALES PESADOS EN ANUROS DE LA PORCIÓN SUR DE LA SELVA LACANDONA, CHIAPAS, MÉXICO

PRESENCE OF HEAVY METALS IN ANURANS FROM THE SOUTHERN PORTION OF THE LACANDONA JUNGLE, CHIAPAS, MEXICO

OSCAR M. MENDOZA-VELÁZQUEZ^{1*}, J. MANUEL ARANDA-COELLO^{1,2} & CARLOS GUTIÉRREZ OLVERA³

¹Red Mesoamericana y del Caribe para la Conservación de Anfibios y Reptiles (Red MesoHerp). Av. Lomas del Jaguar 150, C.P. 29010 Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

²Natura y Ecosistemas Mexicanos, A.C. Plaza San Jacinto 23-D, San Ángel, C. P. 01000 Ciudad de México

³Laboratorio de Bromatología y Toxicología. Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de México, Ciudad universitaria, avenida Universidad #3000, Colonia, C. U., Coyoacán, Ciudad de México, México.

*Correspondence: mevo9611@gmail.com

Received: 2022-06-17. Accepted: 2022-08-03. Published: 2022-09-06.

Editor: Irene Goyenechea Mayer Goyenechea, México.

Abstract.— Currently there is a growing global ecological and public health concern associated with environmental pollution, particularly those caused by agrochemicals and heavy metals; Thus, in many parts of the world, amphibians are threatened by one or more of these chemical compounds and elements created by humans or naturally exist, but are released into the environment. For this reason, based on semi-structured interviews, the agrochemicals used in two ejidos located in front of the southern portion of the Montes Azules Biosphere Reserve (REBIMA) were identified and the dependence on the use of agrochemicals in the region is evidenced; In the laboratory, the atomic absorption spectrophotometry method identified the presence of five metals: Lead (Pb), Cadmium (Cd), Mercury (Hg), Zinc (Zn) and Copper (Cu), and a metalloid: Arsenic (As), in liver and skin of three species of anurans. Thus, the presence of Pb, Cd, Hg, Cu and Zn, may be influenced by the high degree of use of agrochemicals for the agricultural and livestock sector in the region.

Keywords.— Amphibians, bioaccumulation, environmental pollution, ecotoxicology and toxicology

Resumen.— Actualmente existe una creciente preocupación ecológica y de salud pública mundial asociada con la contaminación ambiental, en particular la provocada por agroquímicos y metales pesados; siendo así que en muchas partes del mundo los anfibios están amenazados por uno o más de estos compuestos y elementos químicos creados por el ser humano o que existen de manera natural, que se liberan al medio ambiente. Por tal motivo, a partir de entrevistas semiestructuradas fueron identificados los agroquímicos utilizados en dos ejidos ubicados frente a la porción sur de la Reserva de la Biosfera Montes Azules (REBIMA) y se evidencia la dependencia del uso de agroquímicos en la región; en el laboratorio con el método de espectrofotometría de absorción atómica se identificó la presencia de cinco metales: Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Zinc (Zn) y Cobre (Cu), y un metaloide: Arsénico (As), en hígado y piel de tres especies de anuros. Siendo así que la presencia de Pb, Cd, Hg, Cu y Zn, pueden estar influenciadas por el alto grado de uso de los agroquímicos para el sector agrícola y ganadero en la región.

Palabras clave.— Anfibios, bioacumulación, contaminación ambiental, ecotoxicología y toxicología.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas están amenazados por un número cada vez mayor de contaminantes (especialmente metales pesados) que provocan efectos adversos, generando preocupación ecológica y de salud pública mundial (Hook & Fisher, 2001). Aunque los metales pesados son elementos naturales que se encuentran en toda la corteza terrestre, actualmente la mayor parte de la contaminación ambiental es generada por actividades antropogénicas *e.g.* las operaciones de minería y el uso de fertilizantes y pesticidas en la agricultura (Hayasen et al., 2017); siendo así que en muchas partes del mundo la fauna silvestre (anfibios) se han visto amenazados por uno o más de estos contaminantes que se han liberado al medio ambiente por su toxicidad (Adlassnig et al., 2013; Aguillón-Gutiérrez, 2018).

En el municipio de Marqués de Comillas en el estado de Chiapas, México, actualmente el cambio y uso de suelo han provocado la contaminación de los recursos hídricos y de los ecosistemas acuáticos debido al uso constante de pesticidas para el control de plagas en los cultivos agrícolas y el control de ectoparásitos en el ganado por parte de las comunidades localizadas frente a la porción sur de la Reserva de la Biosfera Montes Azules (REBIMA) (Álvarez-Porebski et al., 2015; Montes de Oca et al., 2015).

Según Aguillón-Gutiérrez (2018) los anfibios son el grupo biológico más vulnerables ante la contaminación debido a sus características biológicas, como: respiración branquial, pulmonar y cutánea, por lo que, si el agua y aire en donde habitan están contaminados, estos pueden presentar complicaciones en cada especie y sus poblaciones. Por estas características y debido a su ciclo de vida anfibio (acuático y terrestre) son un grupo de interés para evaluar las alteraciones y presencia de metales pesados en donde habitan (Willens et al., 2006). Por tal motivo el objetivo de este estudio fue identificar la presencia de metales pesados en hígado y piel de anuros, así como identificar el uso de agroquímicos en dos comunidades frente a la porción de la REBIMA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. El estudio se llevó a cabo en la laguna Jabirú que cuenta con una altitud entre 130-400 m s.n.m., una temperatura media anual de 22°C y una vegetación predominante de selva alta perennifolia (Carabias et al., 2015), ubicado entre las coordenadas geográficas 16°24'13.86" N y 90°45'28.95" W, localizado al sur de la Reserva de la Biósfera Montes Azules (REBIMA) y de la Reserva de la Biosfera Lacan-Tun (RB Lacan-Tun), dentro del ejido Quiringüicharo en el municipio de Marqués de Comillas, Chiapas, dentro del complejo conocido como Selva Lacandona (Fig. 1).

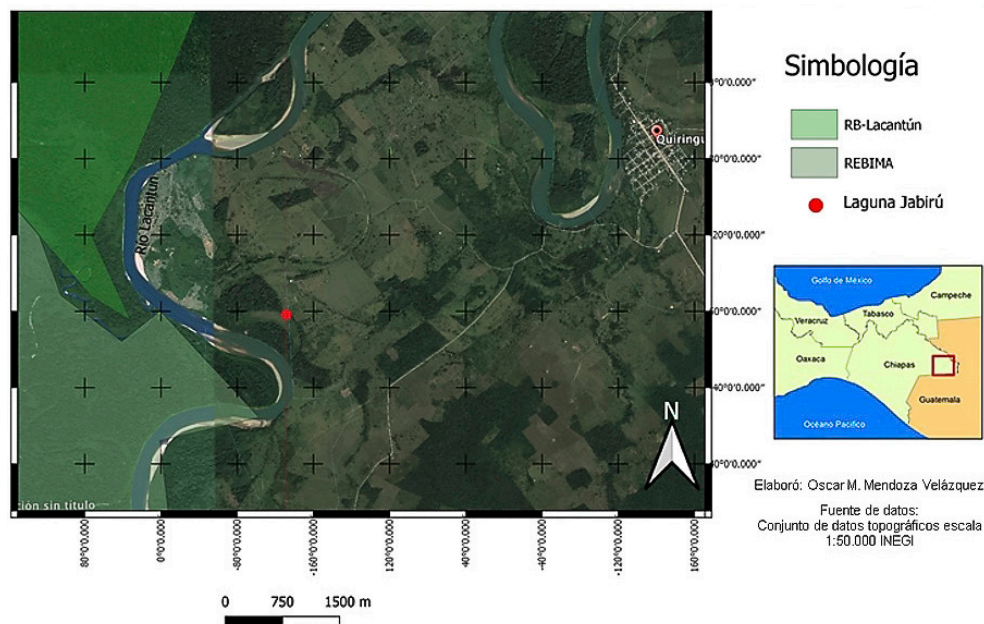


Figure 1. Location of the Jabirú lagoon located in the Quiringüicharo ejido, Marqués de Comillas municipality, Chiapas.

Figura 1. Ubicación de la laguna Jabirú ubicada en el ejido Quiringüicharo municipio Marqués de Comillas, Chiapas.

Riqueza y abundancia de anuros

Se realizaron muestreos mensuales con cinco días de duración de mayo 2018 a mayo 2019, en un horario de 19:00 a 23:00 h y a través del método de relevamiento por encuentros visuales (REV) propuesto por Crump y Scott (1994). Sobre las orillas y dentro de la laguna se colocaron tres transectos de 500 m de largo por 4 m de ancho, dejando 100 m de un transecto a otro.

En cada transecto la búsqueda fue dirigida a los distintos hábitos de las especies, siendo estas: terrestres, fosoriales, arborícolas y semiacuáticos; en donde la captura de los organismos se llevó a cabo de manera manual (con guantes de látex estériles) y con ayuda de redes de acuario de diferentes dimensiones. Una vez capturados los organismos fueron identificados por especie con apoyo de claves taxonómicas de Köhler (2011) y del capítulo de libro de anfibios y reptiles de la subcuenca del río Lacantún de Ramírez et al. (2015).

Metales pesados presentes en anuros

Utilizando el método descrito anteriormente, se realizaron búsquedas de organismos muertos para la toma de muestras de piel e hígado adaptado al método propuesto por Lajmanovich et al. (2005). Todo el proceso de manejo para la toma de datos y el método para la obtención de la muestra, fueron llevados a cabo bajo el número de permiso de colecta SGPA/DGVS/08912/17, así como con base en un protocolo de trato ético y respetuoso a cada ejemplar.

La extracción de piel e hígado se realizó con ayuda de pinzas de disección, bisturís y guantes de látex estériles, cada muestra fue almacenada en tubos de rosca (estériles). Posterior a ello, fueron congeladas a -5°C para su traslado al Laboratorio de Bromatología y Toxicología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Las muestras una vez en el laboratorio, se agruparon por especie y fueron finamente cortadas con un bisturí aunque lo recomendable es usar instrumentos de cristal, plástico o madera cuando se van a analizar presencia de metales pesados, para posteriormente ser homogeneizadas con el apoyo de un mortero de porcelana y pesadas ($\pm 0.2\text{g}$ de cada muestra), a cada muestra se le realizó un duplicado; enseguida se procedió a ponerlas en tubos de ensayo donde se le sometió a digestión húmeda ácida y a cada tubo se le agregó 10 mL de ácido nítrico (HNO_3) dejándolo a digestión por aproximadamente 12 h. Pasado ese tiempo, se le agregó 1 mL de peróxido de nitrógeno (H_2O_2) y se colocaron a baño maría para acelerar la reacción. Las soluciones

restantes fueron aforadas a un volumen conocido (50 mL) con agua desionizada 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 minerales se calculó a partir de una curva patrón preparada con una solución estándar del elemento mineral de 1000 ppm (partes por millón), según su elemento mineral a determinar (Iturbe & Sandoval, 2011), las soluciones estándar usadas en este estudio son certificadas por Sigma-Aldrich®. Con ello, se obtuvo la ecuación de la recta y la regresión lineal, en donde el valor de R fue lo más cercano a 1 para mayor confiabilidad en el análisis. Las condiciones de análisis de los minerales fueron las recomendadas por el manual de operación del fabricante de cada equipo, por ejemplo, los límites de detección en ppm fueron: plomo (Pb) = 0.19, cadmio (Cd) = 0.028, cobre (Cu) = 0.077, zinc (Zn) = 0.018, mercurio (Hg) = 4.2 y arsénico (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 el Espectrómetro Perkin Elmer 3110; mientras que para el Hg y As se empleó espectroscopia de absorción atómica por generación de hidruros en el Espectrómetro Analyst 100 Perkin Elmer. Cada muestra se realizó por triplicado con un coeficiente de variación menor al 10%.

Uso de agroquímicos

Para identificar el uso de agroquímicos (herbicidas, pesticidas y fertilizantes) se realizaron preguntas abiertas por entrevistas semiestructuradas en un horario de 16:00 a 18:00 hrs, y con apoyo de un Smartphone marca LG Q6 Plus se grabaron en tiempo real para posteriormente corroborar la información, todo esto con el permiso y autorización de los entrevistados. Las personas entrevistadas fueron seleccionadas con base al conocimiento del informante clave C. Cesar Jamanguete, (ya que existen problemas sociales y hermetismo de parte de las personas de los ejidos). Las entrevistas se analizaron según Aranda-Coello (2014) y los datos de las respuestas obtenidas se ingresaron en una matriz elaborada en el programa Microsoft Excel®, para obtener las frecuencias.

RESULTADOS

Riqueza y abundancia de anuros

Se registraron ocho especies de anuros para la Laguna Jabirú, incluidas en cuatro familias (Tabla 1). El mes en el cual se avistó un mayor número de organismos fue en mayo; siendo la especie

más abundante *Leptodactylus fragilis* con n=43 individuos. De las ocho especies registradas, *Lithobates brownorum* es la única especie que se encuentra dentro de alguna categoría de riesgo dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010, como especie sujeta a protección especial (Pr).

Metales pesados presentes en anuros

10 anuros muertos y en buen estado de conservación para la extracción de tejido fueron encontrados, los cuales pertenecían a tres especies: *Incilius valliceps* (n = 1), *Smilisca baudinii* (n = 2) y *Leptodactylus fragilis* (n = 7). De los cuales se tomó un total de 20 muestras (10 de hígado y 10 de piel), cada muestra contenía un peso aproximado de ± 0.30 g. De estas muestras se detectaron cinco metales: plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), zinc (Zn) y cobre (Cu), y un metaloide: arsénico (As).

Para todas las muestras de piel se detectó la presencia de todos los minerales antes mencionados, aunque Cd presentó absorbancias muy bajas referente a los otros. Los metales detectados se comportaron de la siguiente manera: las concentraciones más elevadas de As, Cu y Zn se presentaron en las muestras de *L. fragilis*, mientras que las de Pb y Hg se encontraron en *S. baudinii*, y Cd fue mayor en *I. valliceps* (Tabla 2).

En las muestras de hígado se detectó Pb, Hg, As, Zn y Cu, en las tres especies estudiadas y Cd únicamente fue detectado en muestras de *S. baudinii*. Los metales detectados se comportaron de la siguiente manera: las concentraciones más elevadas de Pb, Hg, As, Cu y Zn se presentaron en las muestras de *I. valliceps*; mientras que Cd únicamente fue identificado en *S. baudinii* (Tabla 3).

Table 2. Concentration of heavy metals in the skin. Data is presented as mean concentration \pm standard deviation and all values presented are in wet weight. Concentrations are represented as follows: microgram of metal/gram of sample (μ g), nanogram of metal/gram of sample (ng/g), and milligram of metal/gram of sample (mg/g).

Tabla 2. Concentración de metales pesados en la piel. Los datos se presentan como concentración promedio \pm desviación estándar y todos los valores presentados están en peso húmedo. Las concentraciones se representan de la siguiente manera: microgramo del metal/gramo de muestra (μ g), nanogramo del metal/gramo de muestra (ng/g) y miligramo del metal/gramo de muestra (mg/g).

Especie	n	μ gPb/g	μ gCd/g	ngHg/g	ngAs/g	mgCu/g	mgZn/g
<i>Incilius valliceps</i>	1	38.5 \pm 8.9	8.4 \pm 2.0	669.9 \pm 150.3	1338.3 \pm 13.8	0.0154 \pm 0.0041	0.0498 \pm 0.0048
<i>Smilisca baudinii</i>	2	46.8 \pm 12.5	7.6 \pm 1.7	3170.4 \pm 4252.6	1290.0 \pm 110.5	0.0082 \pm 0.0042	0.0545 \pm 0.0034
<i>Leptodactylus fragilis</i>	7	37.7 \pm 8.7	8.2 \pm 2.0	558.5 \pm 291.9	1639.6 \pm 60.4	0.0965 \pm 0.0812	0.0821 \pm 0.0074
Total	10						

Table 1. Species list of the anurans found within Laguna Jabiru (JB); as well as the abundance per species (n).

Tabla 1. Lista de especies de los anuros encontrados dentro de la Laguna Jabirú (JB); así como la abundancia por especie (n).

Familia	Género	Especie	n
Bufonidae	<i>Incilius</i>	<i>I. valliceps</i>	11
Hylidae	<i>Dendropsophus</i>	<i>D. microcephalus</i>	20
	<i>Smilisca</i>	<i>S. baudinii</i>	13
	<i>Tlalocohyla</i>	<i>T. loquax</i>	4
	<i>Tlalocohyla</i>	<i>T. picta</i>	1
	<i>Trachycephalus</i>	<i>T. thyphonius</i>	3
Leptodactylidae	<i>Leptodactylus</i>	<i>L. fragilis</i>	43
Ranidae	<i>Lithobates</i>	<i>L. brownorum</i>	3
Total			98

Uso de agroquímicos

Se entrevistó un total de 29 personas en un rango de 14 a 69 años, de las cuales 14 pertenecen al ejido Zamora Pico de Oro y 15 al ejido Quiringüicharo. De las 29 personas el 69% (n = 20) mencionó dedicarse a la agricultura, 10.34% (n = 3) son jornaleros, 6.9% (n = 2) ganaderos, 6.9% (n = 2) se dedica a la ganadería y

Table 3. Concentration of heavy metals in the liver. Data is presented as mean concentration \pm standard deviation and all values presented are in wet weight. Concentrations are represented as follows: microgram of metal/gram of sample ($\mu\text{g/g}$), nanogram of metal/gram of sample (ng/g), and milligram of metal/gram of sample (mg/g).

Tabla 3. Concentración de metales pesados en el hígado. Los datos se presentan como concentración promedio \pm desviación estándar y todos los valores presentados están en peso húmedo. Las concentraciones se representan de la siguiente manera: microgramo del metal/gramo de muestra (μg), nanogramo del metal/gramo de muestra (ng/g) y miligramo del metal/gramo de muestra (mg/g).

Especie	n	$\mu\text{gPb/g}$	$\mu\text{gCd/g}$	ngHg/g	ngAs/g	mgCu/g	mgZn/g
<i>Incilius valiceps</i>	1	88.9 ± 25.1	0	374.5 ± 0	3620.5 ± 0	0.1117 ± 0	0.0661 ± 0.0021
<i>Smillisca baudinii</i>	2	36.1 ± 10.2	9.5 ± 0	152.2 ± 0	1598.2 ± 0	0.0935 ± 0	0.0426 ± 0.0009
<i>Leptodactylus fragilis</i>	7	37.4 ± 8.7	0	354.7 ± 8.3	1561.2 ± 149.2	0.0115 ± 0.0084	0.0453 ± 0.0009
Total	10						

agricultura, 3.4% ($n=1$) son estudiantes y 3.4% ($n = 1$) amas de casas. Con referente al uso de agroquímicos el 96.6% ($n = 28$) mencionó utilizar algún tipo de estos productos en sus distintas ocupaciones laborales y tan sólo el 3.4% ($n = 1$) no los utiliza. En cuanto a los herbicidas, en ambos ejidos se identificaron 13, siendo Gramoxone con 76 % ($n = 22$) el más mencionado, seguido del Velfosato con 38% ($n = 11$).

Referente a la menor frecuencia de uso de fertilizantes, se encontró que el 69% ($n = 20$) mencionó no utilizarlos y el 31% ($n = 9$) sí, destacó el uso de la Urea y el Biogreen. Por otra parte, el 10.34% ($n = 3$) mencionó usar plaguicidas siendo los más usados el Arrivo y Foley; en el caso de la ganadería, se identificaron

cinco tipos de agroquímicos siendo estos: Bovitraz, Garraban, Ultoc, Ivermectina y Tactic, mientras que los más utilizados son el Garraban y Bovitraz. No fue posible revisar los frascos. Aunque muchos de los insumos químicos suelen ser comprados en Guatemala, lo cual es muy grave, ya que desconocemos la composición química de éstos.

Con respecto a los terrenos y su colindancia o distancia al río Lacantún, el 62.05% ($n = 18$) mencionó que sus terrenos se ubican en los márgenes y a una distancia que no sobrepasan los 500 m (ver figura 2). Por otra parte, se encontró que, durante todo el proceso para la producción agrícola, Quiringüicharo es el ejido con mayores aplicaciones de agroquímicos de dos a tres veces al año, mientras que Zamora Pico de Oro únicamente aplica agroquímicos una vez al año.

DISCUSIÓN

Riqueza y abundancia de anuros

En este estudio se identificaron ocho de las 28 especies de anuros registrados por Ramírez et al. (2015) para esta zona de la Selva Lacandona, siendo así que la riqueza observada represente el 28.57% de lo reconocido para esta zona. El método, tiempo de muestreo y la ubicación del sitio fueron factores que influyeron en la riqueza de especies, aunque se considera que la ubicación del sitio podría estar influyendo sobre todo porque este se encuentra fuera de la REBIMA y está rodeado de áreas dedicadas a las prácticas agropecuarias, y según González (2010) al alterarse la estructura de la vegetación y presentar perturbación antropogénica en el hábitat se generan cambios en la riqueza de las especies de anfibios; aunado a que empieza a darse un reemplazo de especies de áreas boscosas por aquellas típicas de

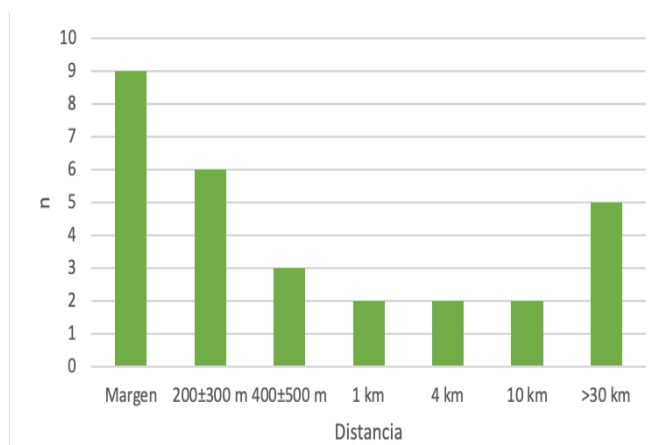


Figure 2. Distance of the land dedicated to agricultural practices, with respect to the Lacantún river.

Figura 2. Distancia de los terrenos dedicados a las prácticas agropecuarias, respecto al río Lacantún.

áreas abiertas (Duarte-Marín et al., 2018), lo que concuerda con nuestros resultados.

Por otra parte, la composición de especies de anfibios encontradas responde adaptativamente a la estructura física del medio ambiente, ya que según Toledo et al. (2005) y Murrieta et al. (2013) especies como *L. fragilis* (especie más abundante en este estudio) pueden encontrarse en áreas abiertas o en los bordes de los bosques y según Urbina-Cardona et al. (2006) *L. fragilis* presenta una afinidad a los hábitats perturbados, lo que demuestra la razón de su abundancia en este estudio, ya que la laguna presenta estas dos situaciones; aunado a que los mismos autores consideran a *S. baudinii* y *T. loquax* como especies generalistas.

Encontrar una especie determinada en un hábitat particular no significa necesariamente que la especie prefiera ese hábitat, debido a que existen muchos factores como la humedad, precipitación, temperatura y comportamiento, que podrían estar determinando la presencia de una especie (Urbina-Cardona et al., 2006) e.g. el registro que obtuvimos de un individuo de *T. picta*, lo que podría demostrar la posible preferencia de *T. picta* a áreas abiertas o puede ser un encuentro casual con la especie para ese tipo de hábitat.

Metales pesados en anuros

Bulog et al. (2002) mencionan que varios estudios informaron sobre las concentraciones de Hg en los tejidos de los vertebrados; en el caso de los anfibios mencionan que aún existe un desconocimiento acerca del mecanismo de acción del Hg en las diferentes especies. Por ello, los resultados obtenidos demuestran que las mayores concentraciones de Hg también se pueden presentar en la piel (como lo encontrado en las tres especies de anuros analizadas), y no únicamente en el hígado, como lo reportaron los trabajos de Bulog et al. (2002) en su estudio con *Proteus anguinus*, y el estudio de Gerstenberger y Pearson (2002) con *Rana catesbeiana*, los cuales aportan al conocimiento sobre este tema.

Con respecto al Pb se ha descubierto que ingresa a los organismos principalmente por la vía respiratoria, siendo absorbido por la sangre y una vez en el hígado (uno de sus órganos "blanco"), es distribuido al resto de los órganos expresando la toxicidad en distintas localizaciones (Goyer, 1981; Pérez, 1994). Según estos autores, el Pb suele estar presente en los distintos tejidos y órganos no depositándose de una manera localizada dentro de los individuos del grupo de anfibios, en este caso los anuros, lo que concuerda con los resultados obtenidos, ya que las concentraciones de Pb encontradas se presentaron de

maneras distintas en las tres especies: para *I. valliceps* la mayor concentración se encontró en el hígado, en *S. baudinii* lo fue en la piel y en *L. fragilis* se presentó de manera muy similar en ambos tejidos.

Con referente a la concentración de As, en *I. valliceps* y *S. baudinii* las concentraciones más elevadas se presentaron en el hígado, a diferencia de *L. fragilis* que lo fue en la piel, este último concuerda con lo reportado por Bulog et al. (2002) donde encontraron valores aumentados de As en la piel de la salamandra pigmentada (*P. anguinus parkelj*); mientras Hopkins et al. (1998) evidencian la presencia de As en el hígado de *Bufo terrestris*, y Moriarty et al. (2013) reportan concentraciones similares de As en todos los tejidos y órganos de *R. clamitans* y *B. americanus*.

Aunado a esto, en *I. valliceps* y *S. baudinii* se encontró una mayor concentración de Cu en el hígado, mientras que en *L. fragilis* se presentó en la piel; esto puede ser debido a que el Cu al ser un metal esencial tiene una participación en diferentes reacciones enzimáticas, encontrándolo regularmente en muchos tejidos y en concentraciones relativamente altas (Loumbourdis & Wray, 1998). Aunque, los niveles aumentados de Cu presentes en el hígado podrían ser indicativos del papel que juega fisiológicamente el hígado como órgano de desintoxicación y/o almacenamiento (Loumbourdis & Wray, 1998). Con relación al Zn presente en *I. valliceps* la mayor concentración se encontró en el hígado, mientras que en *S. baudinii* y en *L. fragilis* se presentó en la piel; esto podría ser debido a un mecanismo adaptativo específico por parte de los anfibios, al poder absorber Zn del medio ambiente para sus procesos metabólicos y las reacciones catalizadas a través de transferencia al riñón, siendo este proceso esencial para ellos (Jaffar & Pervaiz, 1989; Taiwo et al., 2014), y al igual que el Cu alguna alteración en la concentración de estos minerales, podrían generar afectaciones en el organismo.

Es importante mencionar que es complicado realizar una comparación de la concentración de los metales y metaloides identificados en este estudio con datos publicados en otros artículos, ya que desde 1996 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés; Schuytema & Nebeker, 1996) menciona que no hay criterios específicos para las etapas de la vida terrestre en anfibios, concordando con lo reportado por Grane et al. (2016) sobre los escasos datos de toxicidad en anfibios adultos y de hábitos terrestres.

Uso de agroquímicos

Según nuestros resultados, el 96.5% de las personas entrevistadas mencionó usar algún tipo de agroquímico, lo cual concuerda con lo mencionado por Álvarez-Porebski et al. (2015), quienes



Figure 3. Specimen of *Leptodactylus fragilis* with abnormal protuberances on the right side below the eardrum and others on the anterior part of the back (between the legs).

Figura 3. Especimen de *Leptodactylus fragilis* con protuberancias anormales en el costado derecho por debajo del tímpano y otras más en la parte anterior del dorso (en las entrepiernas).

reportan que para las comunidades localizadas frente a la porción sur de la REBIMA el uso de agroquímicos en las distintas actividades agropecuarias es muy común. Encontrándose así, una fuerte dependencia del uso de estos agentes químicos para la producción agrícola (principalmente) y que su uso aumenta constantemente, lo que ha generado con mayor frecuencia la presencia de residuos químicos en arroyos, humedales, lagunas, lagos y ríos; haciendo que la exposición de los organismos que habitan en los cuerpos de agua, en este caso anfibios, sea muy probable (Piha, 2006). Esto último se relaciona directamente con nuestros resultados, ya que la mayoría de los agroquímicos utilizados en la región terminan depositados en lagos, lagunas y ríos, dado a la topografía del lugar, lo cual afecta directamente al sitio de estudio.

Por otra parte, con los resultados de las entrevistas se encontró que en esta región de la Selva Lacandona, las personas suelen cultivar dos veces al año y a diferencia de otros lugares del estado de Chiapas, esta región demuestra una intensificación anual en

el uso de agroquímicos; por lo cual se podría suponer que estas tierras de cultivo reciben altos aportes químicos anuales, lo que podría conducir a una exposición directa en los anfibios que dependen de los cuerpos de agua que se localizan en estas zonas de cultivo o en sus alrededores (Brühl et al., 2013).

A pesar de que en las muestras estudiadas no se analizó la presencia de agroquímicos, dado que la identificación de estos compuestos suelen ser analizados por métodos y equipos diferentes a los implementados para minerales contaminantes; es probable que también exista cierta presencia de agroquímicos en los anuros de la zona de estudio, ya que Álvarez-Porebski et al. (2015) detectaron esta presencia de agroquímicos y metales pesados en los principales cuerpos de agua de la subcuenca del río Lacantún.

Asimismo, se identificó por medio de las encuestas el uso de 28 agroquímicos por los habitantes de Quiringüicharo y Zamora Pico de Oro, y según el trabajo de Cortinas de Nava

(2007) menciona que Chiapas es uno de los estados con mayor uso de plaguicidas en la agricultura lo que se puede demostrar con nuestros resultados, ya que el número de agroquímicos encontrados demuestra este uso desmedido y sin control de los plaguicidas en esta región de la selva, aunado a que las personas desconocen los efectos que estos pueden causar a nivel salud.

Hernández et al. (2007) mencionan que, como estrategias para la protección y regulación del uso de agroquímicos en el país, se debe evitar su utilización, así como la prohibición o restricción de estos. Según los resultados obtenidos en este estudio, se refleja que hasta la fecha no se han tomado las medidas y estrategias necesarias para poder minimizar el uso y control de agroquímicos en esta región, lo que pone en peligro a la fauna silvestre como el caso de los anuros, cuya piel “desnuda”, lisa y permeable, facilita la absorción de contaminantes químicos, haciéndolos más propensos a enfermedades, trayendo a su vez declinaciones poblacionales que causaran graves consecuencias (Aguillón-Gutiérrez, 2018) en la biodiversidad presente de esta región.

Ahora bien, de los 28 agroquímicos identificados el Gramoxone (herbicida post-emergente de amplio espectro) es el más usado en la zona de estudio. Pese a ser un herbicida potente y tóxico, se ha registrado que presenta una baja toxicidad para peces y microcrustáceos, siendo moderadamente tóxico en aves, abejas y altamente tóxico para algas (Syngenta, 2018); si bien en la leyenda del producto no se menciona que este agroquímico presente algún grado de toxicidad en los anfibios, se tiene evidencia que el Gramoxone puede interferir en los procesos reproductivos y se ha comprobado que genera cambios morfológicos en las especies de anfibios (Lajmanovich et al., 1998) y aunque en este estudio no se pudo comprobar la presencia de anomalías morfológicas en los anuros muestreados en la Laguna Jabirú, durante los muestreos para conocer la riqueza y abundancia de especies, un espécimen de *L. fragilis* presentó protuberancias en la parte dorsal y al costado derecho del cuerpo, que no son propias de la especie y según Lajmanovich comp. pers. (2020), dichas protuberancias podrían ser anomalías (de tipo tumoral) provocadas por la exposición a altas concentraciones de agroquímicos, lo cual se tendría que corroborar a través de un estudio histopatológico para confirmar lo mencionado por Lajmanovich (Fig. 3).

Referente a esto y el alto número de agroquímicos identificados a través de las encuestas obtenidas con los pobladores de Zamora Pico de Oro y Quiringüicharo, reafirma los resultados de la investigación realizada por Álvarez-Porebski et al. (2015), quienes identificaron la presencia de contaminantes

orgánicos en el agua, detectando que los plaguicidas provienen de las regiones de Zamora Pico de Oro y Quiringüicharo, lugares en donde se presentan una actividad agropecuaria intensiva y un aumento en los asentamientos humanos. Por lo tanto, podemos suponer que la presencia de contaminantes orgánicos en el río Lacantún y sus afluentes, puede evidenciar el contacto directo que pueden tener los organismos como los anfibios debido a los distintos insumos y derivados químicos (Lajmanovich et al., 2005), ya que estos contaminantes suelen ser arrastrados por el agua desde los puntos más altos y según la topografía de la región analizada mediante sistemas de información geográfica (SIG), demuestra que los escurrimientos llegan a depositarse en el cauce del río Lacantún siendo la parte más baja y con una mayor declinación de la región, lo que nos hace pensar que en estas partes más bajas se podrían presentar las mayores concentraciones de contaminantes para esta región de la Selva Lacandona.

CONCLUSIÓN

La laguna Jabirú es de vital importancia para la conservación de los anfibios anuros de esta zona, ya que ahí se registró el 28.57% de la riqueza descrita para esta región de la Selva Lacandona, así como la presencia de una especie categorizada como especie sujeta a protección especial dentro de la NOM-058-SEMARNAT-2010 (*Lithobates brownorum*). Por otro lado, *Leptodactylus fragilis* evidencia con su abundancia el efecto que tienen los sitios que se encuentran rodeados por tierras dedicadas a la agricultura y ganadería como el caso de la Laguna Jabirú.

Las prácticas agrícolas y ganaderas son de las actividades económicas más importantes para esta región de la Selva Lacandona, existiendo una masificación por la condicionante de cultivar dos veces al año. A diferencia de otros lugares del estado y del país, en esta región se vierte el doble de contaminantes lo que representa una amenaza latente para la biodiversidad y en específico para aquellos organismos que dependen directamente de los cuerpos de agua.

La presencia de metales pesados en los anuros de esta región, se encuentra estrechamente relacionado con el uso de agroquímicos en el sector agrícola y ganadero, ya que la mayoría de las personas usan algún tipo de agroquímico dentro de sus distintas ocupaciones, aumentando así la incidencia de estos contaminantes en los cuerpos de agua. A pesar de que el Cu y Zn son minerales esenciales, una alteración en la concentración de estos podría representar un riesgo para los anuros, ya que en altas concentraciones estos pueden llegar a ser tóxicos y presentar efectos adversos a los organismos.

Agradecimientos.— A Natura y Ecosistemas Mexicanos A. C. por el financiamiento otorgado para llevar a cabo este estudio, a todo el equipo de Natura Mexicana A.C., 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 todos los amigos que nos acompañaron en las diferentes salidas de campo en la selva. Por último, a SEMARNAT por otorgarnos el permiso de colecta SGPA/DGVS/08912/17.

LITERATURA CITADA

- Aguillón-Gutiérrez, D.R. 2018. Anomalías macroscópicas en larvas de anfibios anuros. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 1:08-21.
- Álvarez-Porebski, P., G.L. Hernández, H. Gómez-Ruiz & C. Ramírez-Martínez. 2015. Calidad del agua en la Subcuenca del Río Lacantún. Pp. 261-289. En Carabias, J., J. De la Maza & R. Cadena (Eds.). *Conservación y Desarrollo Sustentable en la Selva Lacandona. 25 Años de Actividades y Experiencias*, México. Redacta, Ciudad de México, México.
- Aranda-Coello, J.M. 2014. Estado actual de la población de caimanes (*Caiman crocodilus*) y posibilidades socioeconómicas para su manejo en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Caño Negro, Costa Rica. Tesis de maestría. Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Brühl, C.A., T. Schmidt, S. Pieper & A. Alscher. 2013. Terrestrial pesticide exposure of amphibians: An underestimated cause of global decline?. *Scientific Reports* 3:1-4.
- Bulog, B., K. Mihajl, Z. Jeran & M.J. Toman. 2002. Trace element concentrations in the tissues of *Proteus anguinus* (Amphibia, Caudata) and the surrounding environment. *Water, Air and Soil Pollution* 136:147-163.
- Carabias, L.J., E.J. De la Maza & R. Cadena. 2015. *Conservación y desarrollo sustentable en la Selva Lacandona. 25 años de actividades y experiencias*. Redacta, Ciudad de México, México.
- Crump, M.L. & N.J. Scoot. 1994. Relevamientos por Encuentros Visuales. Pp. 80-87. En Heyer, R., M. Donnelly, R.W. McDiarmid, L.A.C Hayek & M.S. Foster (Eds.). *Medición y Monitoreo de la Diversidad Biológica. Métodos Estandarizados para Anfibios*. Smithsonian Institution Press, Washington, USA.
- Cortinas de Nava, C. 2007. Situación en México de las existencias de plaguicidas sujetos al Convenio de Estocolmo. INE, Distrito Federal, México.
- Duarte-Marín, S., C. González-Acosta & F. Vargas-Salinas. 2018. Estructura y composición de ensamblajes de anfibios en tres tipos de hábitat en el Parque Nacional Natural Selva de Florencia, Cordillera Central de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 42:227-236.
- Schuytema, G.S. & A.V. Nebeker. 1996. Amphibians toxicity data for water quality criteria chemical, Environmental Protection Agency. National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Western Ecology Division, Corvallis, Oregon, USA. EPA/600/R/124.
- Gerstenberger, S. & R. Pearson. 2002. Mercury Concentrations in Bullfrogs (*Rana catesbeiana*) Collected from a Southern Nevada, USA, Wetland. *Environmental Contamination and Toxicology* 69:210-218.
- Goyer, R.A. 1981. Lead. Pp. 159-199. En: Bronner, F. & Coburn J.W. (Eds.), *Disorders of Mineral Metabolism*. Trace Mineral. Academic Press, USA.
- González, G.D.C. 2010. Ensamblaje de Anfibios y su Relación con Variables del Microhábitat en un Gradiente Potrero-Borde-Interior de Bosque en La Reserva Forestal San José en La Laguna Protectora y Productora De Pedro Palo (Tena, Cundinamarca). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Pontifica Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Grane, M., M. Finnegan, L. Weltj, S. Kosmala-Grzechnik, M. Gross & J.R. Wheeler. 2016. Acute oral toxicity of chemicals in terrestrial life stages of amphibians: Comparisons to birds and mammals. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 80:355-341.
- Hayasen, K.A., B.H. Al-Osaimi & A.M. Aljohany. 2017. Spatial distribution of heavy metals in water, soil and anurans livers from Al-Hayr area Riyadh, Saudi Arabia. *Journal of Environmental Biology* 38:231-236.
- Hernández, G.M.M., C.C. Jiménez, A.F.R. Jiménez & G.M.E Arceo. 2007. Caracterización de las intoxicaciones agudas por plaguicidas: perfil ocupacional y conductas de uso de agroquímicos en una zona agrícola del Estado de México, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 23:159-167.



- Hopkins, W.A., M.T. Mendonça, C.L. Rowe & J.D. Congdon. 1998. Elevated trace element concentrations in Southern Toads, *Bufo terrestris*, exposed to coal combustion waste. *Environmental Contamination and Toxicology* 35:325-329.
- Hook, S. E. & N.S. Fisher. 2001. Sublethal effects of silver in zooplankton: Importance of exposure pathways and implications for toxicity testing. *Environmental Toxicology and Chemistry* 20:568-574.
- Iturbe, F. & J. Sandoval. 2011. Manual de Análisis de Alimentos, Fundamentos y Técnicas. Facultad de Química, Universidad Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Jaffar, J. & S. Pervaiz. 1989. Investigation of Multi organ Heavy Metal trace metal content of meat of selected dairy, poultry fowl and fish species. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research* 32:175-177.
- Köhler, G. 2011. Amphibians of Central America. Herpeton. Verlag, Alemania.
- Lajmanovich, R.C., M.F. Izaguirre & V.H. Casco. 1998. Paraquat tolerance and alteration of internal gill structure of *Scinax nasica* tadpoles (Anura: Hylidae). *Environmental Contamination and Toxicology* 34:364-369.
- Lajmanovich, R., P. De la Sierra, F. Marino, P. Peltzer, A. Lenardón & E. Lorenzatti. 2005. Determinación de residuos de organoclorados en vertebrados silvestres del Litoral Fluvial de Argentina. *Miscelánea* 14:390-398.
- Loumbourdis, N.S. & D. Wray. 1998. Heavy-metal concentration in the frog *Rana ridibunda* from a small river of Macedonia, Northern Greece. *Environment International* 24:427-431.
- Montes de Oca, R., E. Castro, C. Ramírez-Martínez, J. Naime, & J. Carabias. 2015. Características socioeconómicas del municipio Marqués de Comillas. Pp. 219-259. En Carabias, J., J. De la Maza y R. Cadena (Eds.). *Conservación y Desarrollo Sustentable en la Selva Lacandona. 25 Años de Actividades y Experiencias*, México. Redacta, Ciudad de México, México.
- Moriarty, M.M., I. Koch & K. Reimer. 2013. Arsenic species and uptake in amphibians (*Rana clamitans* and *Bufo americanus*). *Environmental Science Processes and Impacts* 15:1520-1528.
- Murrieta-Galindo, R., A. González-Romero, F. López-Barrera & G. Parra-Olea. 2013. Coffee agrosystems: an important refuge for amphibians in central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 87:767-779.
- 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.
- Piha, H. 2006. Impacts of agriculture on amphibians at multiple scales. Tesis de doctorado. Facultad de Biociencias, Universidad de Helsinki. Finlandia, Europa.
- Ramírez, A., R. León-Pérez & D. Noriega. 2015. Anfibios y Reptiles de la Subcuenca del Lacantún. Pp. 177-185. En Carabias, J., J. De la Maza & R. Cadena (Eds.). *Conservación y Desarrollo Sustentable en la Selva Lacandona. 25 Años de Actividades y Experiencias*, México. Redacta, Ciudad de México, México.
- Sygenta. 2018. Gramoxone Super. Etiqueta de uso.
- Taiwo, I.E., A.N. Henry, A.P. Imbufe & O.O. Adetoro. 2014. Heavy metal bioaccumulation and biomarkers of oxidative stress in the wild African tiger frog, *Hoplobatrachus occipitalis*. *African Journal of Environmental Science and Technology* 8:6-15.
- Toledo, L.F., L.M. Castanho & C.F.B. Haddad. 2005. Recognition and distribution of *Leptodactylus mystaceus* (Anura:Leptodactylidae) in the state of São Paulo, southeastern Brazil. *Biota Neotropica* 5:57-62.
- Urbina-Cardona, J.N., M. Olivares-Pérez & V.H. Reynoso. 2006. Herpetofauna diversity and microenvironment correlates across a pasture-edge-interior ecotone in tropical rainforest fragments in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve of Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 132:61-75.
- Willens, S., M.K. Stoskopf, R.E. Baynes, G.A. Lewbart, S.K. Taylor & S. Kennedy-Stoskopf. 2001. Percutaneous malathion absorption by anuran skin in flow-through diffusion cells. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 23:255-262.

