



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

## **Murciélagos y metales pesados**

**TESIS PROFESIONAL**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**B I O L O G O**  
P R E S E N T A:  
ESTEBAN MONJARAZ MAYRET

**DIRECTOR**  
**DR. JOSÉ ANTONIO GUERRERO ENRÍQUEZ**

**CUERNAVACA, MORELOS**

**Abril, 2023**

# INDICE

INDICE .....	2
INDICE DE FIGURAS .....	3
INDICE DE TABLAS .....	3
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS .....	4
RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
1. Generalidades de la contaminación ambiental .....	7
1.1. Impacto ambiental de los contaminantes .....	7
1.1.1. Cadenas tróficas .....	8
1.2. Biomagnificación .....	8
1.3 Metales pesados.....	9
1.4 Generalidades de los murciélagos .....	10
JUSTIFICACIÓN.....	11
OBJETIVO GENERAL .....	11
OBJETIVOS PARTICULARES.....	11
MATERIALES Y MÉTODO.....	11
Obtención de datos .....	11
Organización y análisis de información .....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
Estudios de metales pesados en pelo, piel y patagio de murciélagos.....	20
Estudios de bioacumulación de metales pesados en murciélagos.....	21
Estudios de lesiones asociadas a metales pesados o predicciones .....	22
Estudios de murciélagos como bioindicadores de metales pesados.....	22
CONCLUSIÓN .....	23
REFERENCIAS .....	24

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Gráfica de número de artículos publicados en los periodos 2000-2015 y 2015-2021. .....	13
Figura 2. Cuadro de países con mayor número de investigaciones, en orden alfabético.....	14
Figura 3. Mapa de países que han realizado estudios sobre murciélagos y metales pesados, marcando el número de investigaciones por color. ....	15
Figura 4. Cuadro de familias más estudiadas entre investigaciones, ordenadas alfabéticamente. .....	16
Figura 5. Cuadro de metales pesados más estudiados entre investigaciones, en orden alfabético. .....	19

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Listado de especies más estudiadas entre artículos, en orden alfabético. ....	18
--	----

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS**

Dedicado a mi sueño por estudiar biología desde secundaria en 2010 hasta la actualidad 2023 y al segundo sueño de realizar una investigación con “murciélagos” y “metales pesados”.

Para familiares, amigas, amigos, gente que me aprecia y viceversa, del futuro, el presente y el pasado. . .

Agradezco a mi madre Minerva Mayret Mesquiti y a mi abuela Gloria Mesquiti Coronado por su invaluable apoyo en todos mis propósitos a lo largo de mi vida y por dejarme ser, es poco decir para todo el esfuerzo y más que hay detrás.

Agradezco a mi abuelo Arturo Mayret Parra por influenciarme por la biología sin ser de manera premeditada. Hasta siempre. . .

A mi padre Abinadi Monjaraz Soto por hacerme darme cuenta de lo importante de estudiar.

Agradezco al Dr.Armando Burgos Solorio por apoyarme y motivarme durante la licenciatura para mi desarrollo profesional.

Agradezco al Dr. José Antonio Guerrero Enríquez por aceptarme como tutor y director de tesis cuando estaba en condiciones de desesperación, por su acompañamiento, por su atención de primera, su apoyo y motivación durante toda la pandemia y poco más de ella.

## **RESUMEN**

La contaminación en el ambiente se expande en correlación a las actividades antropogénicas, por ello el flujo y transporte de los xenobióticos ha surgido como tema de interés dentro de la investigación científica. Se han hecho investigaciones sobre cómo los organismos son afectados y sirven como vectores para la propagación de algunos xenobióticos a lo largo de la cadena trófica produciendo efectos adversos en los organismos. En zonas tanto urbanas como rurales se han reportado niveles de contaminación con metales pesados que exceden los límites establecidos, que además son residuos altamente tóxicos. Los murciélagos habitan tanto zonas urbanas como rurales y algunas especies se caracterizan por ser más tolerantes que otras a la exposición a metales pesados. Las investigaciones sobre el tema carecen de constancia, por tanto, la información no esclarece la relación murciélago- metales pesados. Por lo que el objetivo de esta investigación es realizar una revisión y analizar los estudios de murciélagos y metales pesados, siendo una actualización destacando un parámetro abonando también datos antes no considerados. Para ello se buscó información relacionada y se realizó una base de datos para así analizar las investigaciones encontradas, así como su contenido.

## **ABSTRACT**

Pollution in the environment expands in correlation to anthropogenic activities, therefore the flow and transport of xenobiotics has emerged as a topic of interest in scientific research. Research has been done on how organisms are affected and serve as vectors for the propagation of some xenobiotics along the food chain, producing adverse effects on organisms. In both urban and rural areas, levels of heavy metal contamination have been reported that exceed the established limits, which are also highly toxic residues. Bats inhabit both urban and rural areas and some species are characterized by being more tolerant than others to exposure to heavy metals. Research on the subject lacks evidence, therefore, the information does not clarify the bat-heavy metal relationship. Therefore, the objective of this research is to carry out a review and analyze the studies of bats and heavy metals, being an update highlighting a parameter also paying data not previously considered. For this, related information was sought and a database was created in order to analyze the investigations found, as well as its content.

# INTRODUCCIÓN

## **1. Generalidades de la contaminación ambiental**

La contaminación es el efecto de los contaminantes en el medio, ya sea agua, aire o suelo, generando un impacto negativo ya que lo modifican. Por lo que un contaminante es materia tóxica, es decir, tiene la capacidad de dañar la salud de un organismo. Pueden ser físicos, químicos y biológicos (Puga *et al*, 2006). Los contaminantes se clasifican por su fuente de emisión que puede ser natural o antropogénica, sin embargo, el origen de cada uno es diverso. Dentro de los contaminantes existen distintos niveles de toxicidad y en el ambiente existen diferentes niveles de concentración de ellos, en su mayoría los contaminantes tienen la característica de pasar de un medio a otro, por lo que no hay una solución para cada uno de ellos (Clark *et al*, 2001; Aljamali *et al*, 2019).

Los contaminantes que generan mayor impacto son los de origen antropogénico, como los contaminantes generados por la industria, y debido al incremento poblacional generan mayor presión en el ambiente, lo que quiere decir que hay un aumento exponencial de los contaminantes y variación de ellos por el aumento de la población humana (Cisneros, 2001; Encinas, 2011). Dado que la mayor parte de la contaminación del ambiente está asociada a las actividades antropogénicas y su emisión es de distintos orígenes se aprecia que hay una diferencia significativa entre los sitios contaminados urbanos y rurales (Wark *et al*, 1990).

El ambiente es el sitio de disposición final de los contaminantes y desempeña una acción importante que reduce o aumenta la toxicidad de algunos contaminantes, por ejemplo: los metales pesados por el repartimiento de los perfiles del suelo, por lo que la disponibilidad de los contaminantes está controlada por sus propiedades y las características del medio. Por tanto, la materia como los contaminantes tienen un flujo a través de las cadenas tróficas (Aránguez *et al*, 1999).

### **1.1. Impacto ambiental de los contaminantes**

Las características de los contaminantes estarán dadas por su origen, composición, y su dispersión en el ambiente. Sin embargo, los contaminantes pasan a formar parte de un proceso químico del ambiente, lo que transforma a los contaminantes que originalmente se emitieron y esto reduce o aumenta su nivel de toxicidad (Henry *et al*, 1999).

En el sistema abiótico los contaminantes no serían un problema, porque son inertes, sin embargo, en el sistema biótico sí lo son debido a que tienen una interacción con el medio al cual los contaminantes se modifican y al introducirse en los organismos dañan su salud e interfieren en los procesos biológicos como las cadenas tróficas que transfieren la materia como los contaminantes hacia los otros niveles tróficos (Caselli, 2000).

### **1.1.1. Cadenas tróficas**

Las cadenas tróficas son un sistema biológico idealizado donde existen niveles tróficos en los que los organismos transfieren la materia por medio del metabolismo celular al consumir a otro organismo de un nivel trófico bajo, principalmente inicia por la transformación de materia con organismos fotosintéticos, que se les conoce como productores primarios ya que llevan a cabo un proceso de fotosíntesis el cual utiliza energía luminosa que emana del sol y la transforma en energía química, que es su fuente de energía por ser organismos autótrofos (Burns *et al*, 1989; Thompson *et al*, 2007). El flujo de la materia comienza cuando un herbívoro (consumidor primario) se alimenta de las plantas (productor primario) y distribuye la materia por su organismo, posteriormente un depredador (consumidor secundario) se alimenta de un herbívoro del cual distribuye la materia por su organismo igual que el consumidor primario y así sucesivamente con un consumidor terciario, entonces la materia se extiende entre consumidores por todo el ecosistema. Ya que la materia no fluye de manera lineal porque los consumidores pueden nutrirse desde muchos niveles tróficos, en lugar de cadena, se ha denominado red trófica, que es un patrón que representa mejor la realidad en el cual se consumen alimentos en un ecosistema (García, 2003).

En el proceso de la contaminación con los metales pesados, las plantas (productores primarios) son los primeros en acumular por absorción de la raíz estos contaminantes, lo que permite la bioacumulación de ellos en los demás seres vivos que forman la red trófica de un ecosistema. Esta contaminación vegetal alcanza a los animales consumidores herbívoros, a los carnívoros y depredadores (Posada, 2006; Souza *et al*, 2012).

### **1.2. Biomagnificación**

Cuando los contaminantes ingresan a los organismos se transfieren a los siguientes niveles tróficos. Esta relación se agrava cuando se produce biomagnificación que es el aumento de la concentración de una sustancia en los organismos situados en niveles superiores de la cadena trófica con respecto a aquellos que se encuentran en niveles inferiores; ocurre porque los



organismos bioacumulan estos contaminantes más de lo que desechan, lo que implica un aumento progresivo del contaminante. Entonces cuando la bioacumulación ocurre en cada transferencia a niveles tróficos superiores la concentración del contaminante aumenta (Coto, 2014).

Por ejemplo, los metales pesados transferidos al ambiente son depositados directamente en el suelo, por lo que pueden ser absorbidos y transportados hacia los tejidos de la planta y estos transferirse a un herbívoro y después a su depredador. Entonces si los contaminantes son capaces de bioacumularse, transferirse en las cadenas tróficas y aumentar la concentración de estos contaminantes con respecto a los siguientes niveles tróficos (biomagnificarse) pueden ejercer daños severos, no solo por las propiedades del contaminante, sino por el aumento de concentración de estos, generando desde malformaciones hasta la muerte (Gutiérrez, 2015; Miller *et al*, 2010).

### **1.3 Metales pesados**

Algunos metales pesados (MP) de aquí en adelante referido como MP, están presentes de manera natural ya que forman parte de los minerales de las rocas; sin embargo, estos pueden transformarse en biodisponibles por desastres naturales o actividades antropogénicas, que deja residuos sólidos en grandes cantidades por lo que su disposición es mayor y directa (Alcalá *et al*, 2008; Giuffré *et al*, 2005; Llatance *et al*, 2018). Su toxicidad se basa en los mecanismos de acción, puede ocurrir a través de la bicapa lipídica, por difusión simple, difusión facilitada o por transporte activo, a través de un canal iónico, a través de una proteína transportadora o por un gradiente eléctrico o químico. Otro mecanismo de captación celular es la endocitosis (Newman, 2015).

Los metales pesados se caracterizan por poseer una densidad mayor a  $5 \text{ g/cm}^3$  y un número atómico mayor a 20. Algunos de los metales pesados son: Cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), zinc (Zn).

Cabe mencionar que se considera que los metales son nocivos, sin embargo, muchos resultan esenciales en la dieta y en algunos casos su deficiencia o exceso puede conducir a problemas de salud, por ejemplo, Fe, Co, Mn, Zn (Londoño *et al*, 2016; Masindi, *et al* 2018).

Por el contrario, los metales no esenciales a bajas concentraciones provocan alteraciones en salud de los organismos y en distintos niveles de organización biológica. Por ejemplo, el mercurio en estado gaseoso causa daño al sistema nervioso (cerebro). El plomo genera un

aumento de la vitamina D el cual provoca la fijación del calcio en los huesos, con el plomo que en ellos se hubiese depositado. La ingesta del cadmio de manera indirecta o directa produce daños al riñón, hígado, pulmón, páncreas, testículos y huesos (Coto, 2014; Racero *et.al* 2017; Turk *et al.* 2004).

Poco se sabe del impacto que tienen los metales pesados en murciélagos, algunos ejemplos citados del daño a otros animales aplican también para los murciélagos, como la hepatopatía, daño al ADN, hemocromatosis, cuerpos de inclusión renal, temblores, espasmos, lentitud general, falta de control en el cuerpo y mortalidad. Se desconoce debido a la ausencia de métodos menos intrusivos y el estado de conservación y protección de los murciélagos (Zukal *et al*, 2015; Hernout *et al*, 2016; Mina *et al*, 2019).

#### **1.4 Generalidades de los murciélagos**

Los quirópteros (murciélagos) son el segundo orden más rico en especies, ya que son reconocidas cerca de 1400 especies, agrupadas en 18 familias. Su distribución es muy amplia, por lo que se encuentran casi en todos los ecosistemas, aunque se concentran principalmente en las áreas neotropicales (Barquez *et al*, 2020). Dentro de las adaptaciones evolutivas destacadas de este grupo están el vuelo y la ecolocalización, lo que les ha permitido el ingreso a diferentes ecosistemas, así mismo los quirópteros ocupan cada nivel trófico, desde consumidores primarios hasta terciarios, ya que algunas especies se alimentan de fruta, insectos, néctar, polen, peces, sangre y más, por ello se definen en grupos funcionales como polinizadores, dispersores de semillas y controladores de plagas (Espinoza *et al*, 2008; Mena, 2010).

Los quirópteros representan un papel ecológico y económico dentro del ecosistema en los que habitan. Brindan servicios ambientales de los cuales destacan la polinización, regeneración de los ecosistemas naturales por dispersión de semillas, el flujo genético de especies vegetales y controlador de diversas plagas (Burneo *et al*, 2015).

Dentro de las amenazas a los quirópteros están la pérdida del hábitat, destrucción y perturbación de refugios, conflicto humano-murciélago y enfermedades emergentes, uso indiscriminado de sustancias tóxicas y amenazas emergentes (Frick *et al*, 2020). Se ha demostrado que los quirópteros son sensibles a la perturbación de su hábitat, por lo que la respuesta es inmediata, las comunidades tienden a ser menos diversas y dominadas por pocas especies, por lo que se les

conoce como bioindicadores de la perturbación. Existen características clave y que conjuntamente confirman que los murciélagos sirven como buenos bioindicadores de perturbación de los cuales los más importantes que cumplen: una amplia distribución geográfica, conocimiento de la biología de las especies, taxonomía bien conocida y de fácil identificación, respuesta graduada ante cambios ambientales, alta importancia dentro de su ecosistema y su diversidad trófica (Medellín *et al*, 2014; Casarrubia, 2022).

## **JUSTIFICACIÓN**

Se han realizado investigaciones donde se han encontrado diversos contaminantes tanto en sitios urbanos como rurales, por desastres naturales o distintas actividades antropogénicas, donde además están presentes en grandes concentraciones, como los metales pesados. Los murciélagos son un grupo que habita tanto en sitios urbanos como rurales, por lo que están expuestos a diferentes contaminantes. Sin embargo, falta información y una actualización sobre la relación entre murciélagos y metales pesados. Por lo anterior, el presente estudio pretende realizar una revisión y analizar los estudios relacionados de murciélagos y metales pesados de la última revisión realizada en 2015 por “Zukal *et al* 2015” hasta la actualidad.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar el estado actual del conocimiento sobre estudios científicos de murciélagos y metales pesados.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Construir una base de datos con las publicaciones sobre metales pesados y murciélagos.
- Analizar la información de los artículos como su enfoque de estudio.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **Obtención de datos**

Se realizó la búsqueda de artículos publicados sobre murciélagos y metales pesados. Debido a que en 2015 “Zukal *et al* 2015” se publicó una revisión sobre el tema, fue ese año el que se consideró como punto de inicio y finalizando la búsqueda hasta el año 2021. Para la búsqueda de publicaciones se utilizó la plataforma de “Google Académico” utilizando las palabras “Murciélagos” y “Metales pesados”, tanto en inglés como en español y limitando la búsqueda al año 2015. No se consideraron publicaciones como tesis, resúmenes de congresos.

### **Organización y análisis de información**

Se revisó la información obtenida de los artículos encontrados en Google Académico y se organizó en una base de datos usando Microsoft Excel ® versión 2007. Los campos para organizar dicha información fueron los siguientes:

- 1.- Países
- 2.- lugares de publicación
- 3.- tema o enfoque
- 4.- familias
- 5.- especies estudiadas
- 6.- metales estudiados.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se encontró un total de 423 resultados en español, de los cuales corresponden solo a 1 artículo y 2 a tesis relacionadas al tema, mientras tanto en inglés se encontró un total de 2,720 resultados, de los cuales 34 corresponden a artículos y 2 tesis. Por tanto, en total se encontraron 3,143 resultados, esta cifra corresponde a las palabras localizadas en diferentes artículos de acuerdo al texto en el buscador, de los cuales 35 corresponden a artículos y 4 a tesis para obtener grado entre 2015 y 2021.

Los artículos no citados mencionan a los metales pesados como una problemática para los murciélagos o sugerencia de tema de investigación sin ser un tema de interés.

En perspectiva con los resultados obtenidos y los de Zúkal *et al*, (2015) hubo un aumento en las investigaciones sobre el tema, ya que del año 2000 a 2015 encontró 52 trabajos, mientras que entre 2015 y 2021 se obtuvieron 39 lo que corresponde a un 75% de investigaciones en un periodo de tiempo menor (Figura 1).

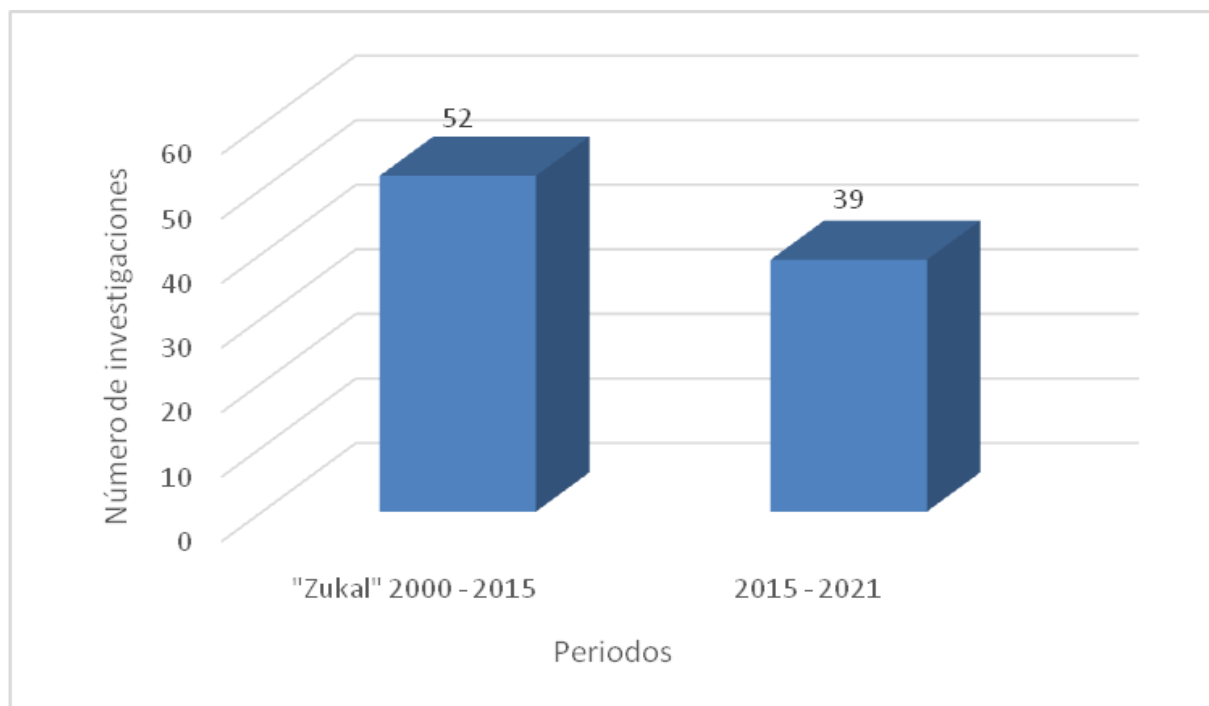


Figura 1. Gráfica de número de artículos publicados en los periodos 2000-2015 y 2015-2021.

Dentro de estos artículos se encontraron estudios realizados en 22 países, los cuales corresponden a: Alemania, Australia, Belice, Brasil, Canadá, China, Colombia, Ecuador, EE.UU, Egipto, España, Finlandia, Gales, India, Inglaterra, México, Pakistán, Perú, Portugal, República Checa, Suecia y Ucrania (Figura 2). Los países que más realizaron investigaciones del tema son Alemania, Estados Unidos, Egipto y Pakistán. De acuerdo con Zukal *et al*, (2015) “los estudios realizados estaban sesgados por tiempo y espacio, los países que tienen mayor número de aportaciones se limitaban a 1 o 2 investigaciones como en la región de América del norte y Europa, y dado a la variación de datos en las tendencias de los metales pesados en murciélagos estos no pueden ser referente ya que son inconsistentes, los datos no pueden ser comparados ya que el método es distinto y en un área geográfica distante entre investigaciones.”

Con los resultados de Zukal *et al*, (2015) y los resultados obtenidos en esta nueva revisión, se observa que se mantiene un sesgo temporal y espacial entre investigaciones, sin embargo, esta tendencia va en decremento ya que por año más países están realizando hasta 2 investigaciones,

aunque la mayor cantidad de estudios aún se concentra en América del norte y Europa (Figura 3).

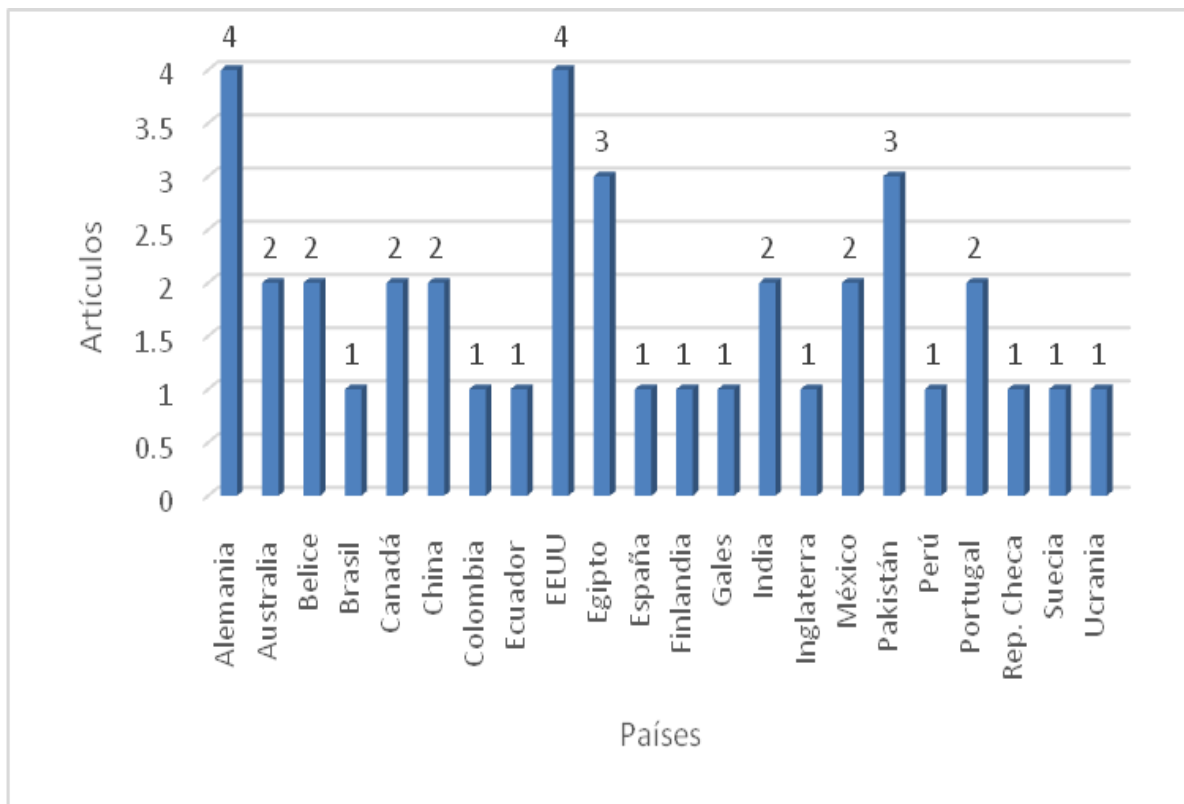


Figura 2. Cuadro de países con mayor número de investigaciones, en orden alfabético.

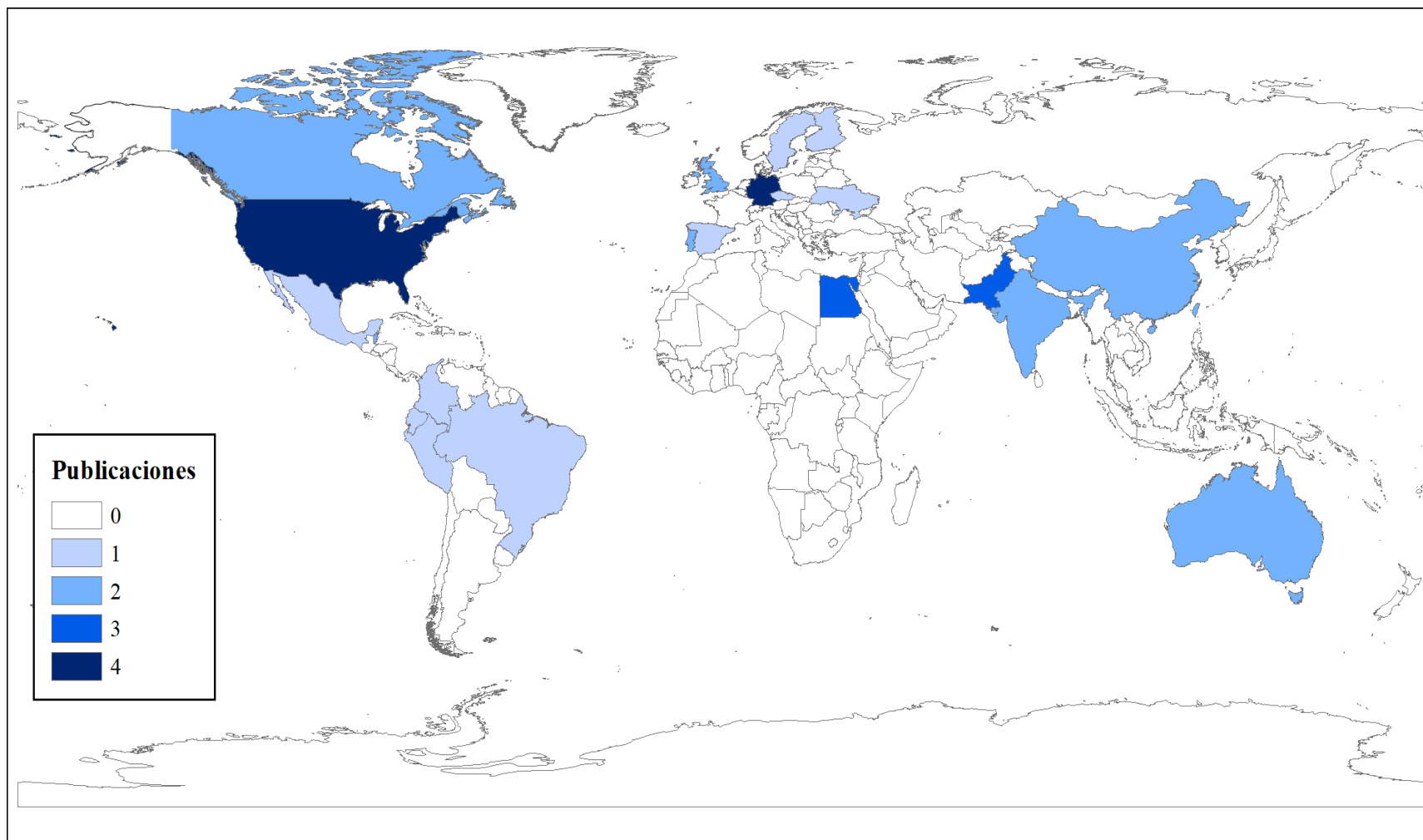


Figura 3. Mapa de países que han realizado estudios sobre murciélagos y metales pesados, marcando el número de investigaciones por color.

Dentro de las 39 investigaciones se encontraron estudios realizados en 9 familias de murciélagos, las cuales corresponden a: Emballonuridae, Megadermatidae, Molossidae, Noctilionidae, Pteropodidae, Phyllostomidae, Rhinopomatidae, Rhinolophidae, Vespertilionidae. Las familias más estudiadas corresponden a: Vespertilionidae, Molossidae, Pteropodidae, Emballonuridae, Rhinopomatidae, Megadermatidae, Phyllostomidae y Rhinolophidae, en orden de mayor a menor número de repeticiones por investigación (Figura 4).

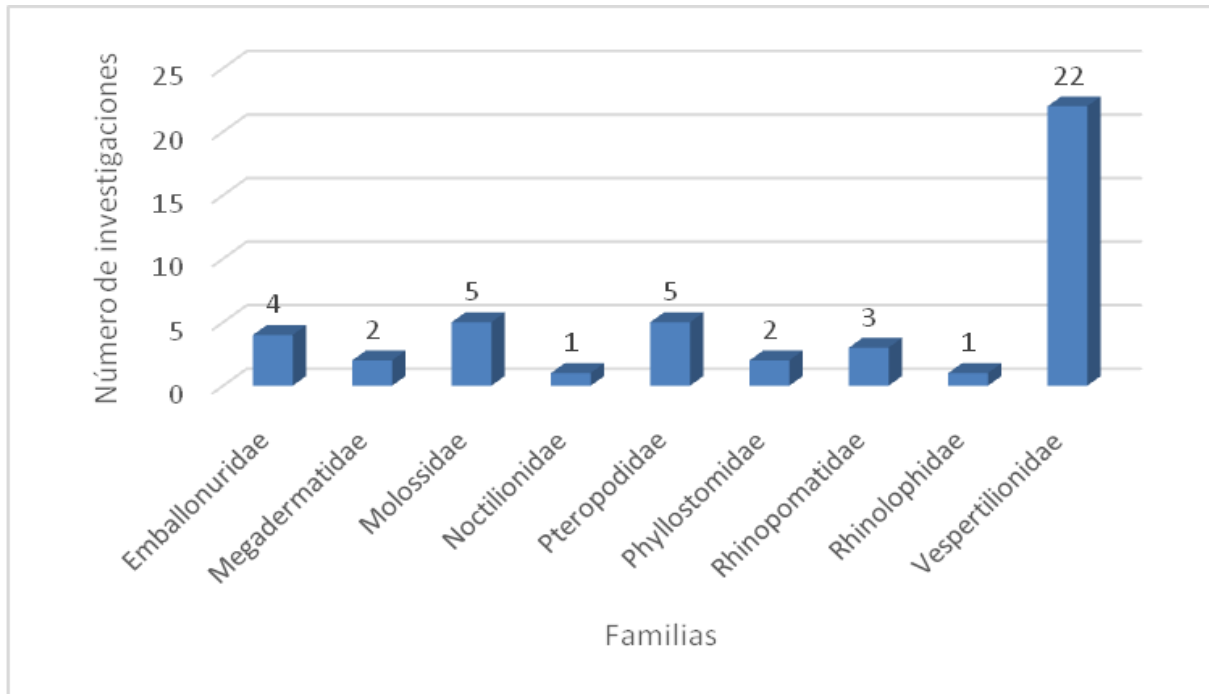


Figura 4. Cuadro de familias más estudiadas entre investigaciones, ordenadas alfabéticamente.

Se obtuvo un promedio de 4 especies por artículo y se obtuvieron 56 especies distintas entre las 39 investigaciones, siendo las especies más estudiadas: *Myotis daubentonii*, *Pipistrellus pipistrellus*, *Tadarida brasiliensis* y *Miniopterus schreibersii*. Sin embargo, el 83% de las especies son utilizadas una vez, mientras que el 17% corresponde a especies que se utilizaron en otro artículo (Tabla 1).

Especies	Investigaciones
<i>Bauerus dubiaquercus</i>	1
<i>Chrotopterus auritus</i>	1
<i>Dermanura phaeotis</i>	1
<i>Dermanura watsoni</i>	1



<i>Desmodus rotundus</i>	1
<i>Eonycteris spelaea</i>	1
<i>Eptesicus fuscus</i>	1
<i>Eptesicus serotinus</i>	1
<i>Hypsugo savii</i>	1
<i>Lasiurus borealis</i>	1
<i>Lasiurus intermedius</i>	1
<i>Megaderma lyra</i>	1
<i>Megaderma spasma</i>	1
<i>Miniopterus schreibersii</i>	2
<i>Molossus rufus</i>	1
<i>Mops condylurus</i>	1
<i>Myotis austroriparius</i>	1
<i>Myotis bechsteinii</i>	2
<i>Myotis daubentonii</i>	5
<i>Myotis elegans</i>	1
<i>Myotis lucifugus</i>	2
<i>Myotis myotis</i>	1
<i>Myotis nattereri</i>	1
<i>Myotis septentrionalis</i>	1
<b>Noctilio leporinus</b>	1
<b>Nyctalus leisleri</b>	1
<b>Nyctalus noctula</b>	2
<i>Nyctalus plancyi</i>	2
<i>Nycticeius humeralis</i>	1
<i>Perimyotis subflavus</i>	1
<i>Pipistrellus abramus</i>	1
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	4
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	2
<i>Plecotus auritus</i>	1

<i>Plecotus austriacus</i>	1
<i>Pteropus alecto</i>	1
<i>Pteropus giganteus</i>	1
<i>Pteropus medius</i>	1
<i>Pteropus natalis</i>	1
<i>Pteropus poliocephalus</i>	1
<i>Rhinopoma cystops</i>	1
<i>Rhinopoma microphyllum</i>	1
<i>Rhinolophus euryale</i>	1
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	1
<i>Rhinolophus hipposideros</i>	1
<i>Rhogeessa aeneus</i>	1
<i>Rhynchonycteris naso</i>	1
<i>Rousettus Aegyptiacus</i>	1
<i>Saccopteryx bilineata</i>	1
<i>Sturnira lilium</i>	1
<i>Tadarida aegyptiaca</i>	1
<i>Tadarida brasiliensis</i>	3
<i>Taphozous melanopogon</i>	1
<i>Taphozous nudiventris</i>	1
<i>Taphozous perforatus</i>	1
<i>Trachops cirrhosus</i>	1

Tabla 1. Listado de especies más estudiadas entre artículos, en orden alfabético.

Zukal *et al*, (2015) registraron estudios en 65 especies de murciélagos, dentro de las cuales las especies más estudiadas eran *Eptesicus fuscus*, *Myotis grisescens*, *Myotis myotis* y *Pipistrellus pipistrellus*.

En complementación con los resultados obtenidos en este trabajo, se mantiene solo la especie *Pipistrellus pipistrellus*, mientras que las especies *Tadarida brasiliensis*, *Miniopterus schreibersi*, *Myotis daubentonii* *Eptesicus fuscus*, *Myotis grisescens* y *Myotis myotis* son complementarias a las especies más estudiadas.

La revisión de las 39 publicaciones arrojó un total de 23 metales pesados distintos, también se contabilizaron los más estudiados, siendo estos: Cadmio, zinc, plomo, cobre, mercurio, manganeso, hierro, níquel, cromo, cobalto, arsénico, calcio, molibdeno, selenio, aluminio, antimonio, bario, boro, estaño, magnesio, plata, rubidio y wolframio, en orden de mayor a menor número entre investigaciones (Figura 5).

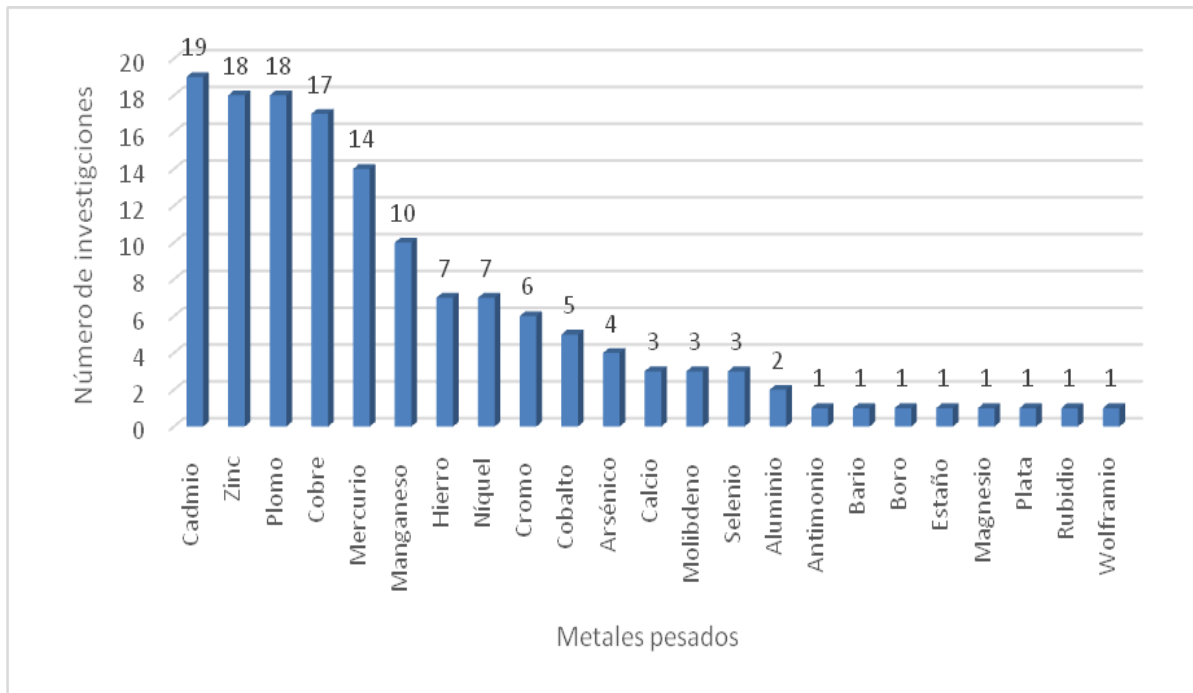


Figura 5. Cuadro de metales pesados más estudiados entre investigaciones, en orden alfabético.

De acuerdo con Zukał *et al*, (2015) los metales pesados de mayor preocupación a nivel general son el arsénico, cadmio, cobalto, cromo, cobre, mercurio, manganeso, níquel, plomo, estaño y talio. En perspectiva y considerando los resultados aquí obtenidos, esta tendencia se mantiene, aunque no está presente el “talio”, en el caso del zinc y hierro no se les considera como de alto riesgo ya que son elementos “traza” (Jiménez *et al*, 2007; Martínez *et al*, 1999).

Tras el análisis de los 39 artículos de murciélagos y metales pesados, se agruparon cinco temas generales utilizando, publicados desde 2015 hasta 2021. Los temas cubiertos por un gran número de estudios fueron bioacumulación, estimación, detección, variación y nivel de metales pesados en murciélagos, mientras que aquellos cubiertos por los números más bajos de los estudios fueron mercurio en guano de murciélago y rastreo de metales pesados por medio de guano.

## **Estudios de metales pesados en pelo, piel y patagio de murciélagos**

El número de estudios que se ocupan del tema son 8 artículos, lo que constituye el 21% de todos los estudios. De estos 8, el 50% fue realizado por equipos de investigación en Alemania. La mayoría de los estudios (5 investigaciones, 62%,) se centraron en muestras de pelo de murciélago para el monitoreo y mediciones de concentraciones de metales pesados, y solo 3 investigaciones (38%) se centraron en muestras de piel y patagio de murciélago. El objetivo de los estudios fue evaluar la idoneidad de las muestras de pelo, piel y patagio como unidad de control de la exposición de metales en murciélagos, en algunos casos se compararon estas muestras con los niveles de metales pesados en órganos internos de murciélagos muertos que seguían intactos o de ejemplares depositados en colecciones científicas (Flache *et al*, 2015; Hernout, *et al*, 2016; Mina, 2019; Timofieieva *et al*, 2021).

De acuerdo con Flache *et al*, (2015) “todas las especies de murciélagos europeos están protegidas y se requiere un método no invasivo para examinar su exposición a metales y el análisis de muestras de pelo ofrece esa posibilidad”. Tradicionalmente analizando los órganos internos los animales deben ser sacrificados y utilizando muestras de pelo, piel y patagio los murciélagos son liberados, además se necesitan muestras pequeñas de pelo (entre 1 a 5 mg por animal), que deben ser tomadas alrededor de 1 a 2 mm por encima de la piel utilizando tijeras quirúrgicas de acero (Flache *et al*, 2015; Hernout *et al*, 2016).

Las raíces del pelo absorben metales del torrente sanguíneo que luego se incorporan al pelo en crecimiento y se concentra de igual manera en órganos internos, por tanto, las muestras de pelo, piel y patagio son herramientas adecuadas para estudiar la exposición a metales, que reflejan además las diferencias entre especies, así como el monitoreo de metales pesados (Timofieieva *et al*, 2021) y después de la remediación de algún sitio que se encontraba contaminado.

La variación en la concentración de metales está influenciada por variables como la edad, la dieta y la muda, aunque aún no hay información sobre la regulación metabólica, por lo que se sugiere que debe haber un enfoque en la transferencia de elementos metálicos a lo largo de la cadena alimentaria de las especies de murciélagos ya que los murciélagos suelen encontrarse en niveles tróficos relativamente altos, lo que puede contribuir a la alta acumulación de metales a través de biomagnificación además pueden estar expuestos a metales a través de diferentes vías, como la inhalación, el contacto con suelo contaminado, ingestión de agua contaminada y consumo de

presas contaminadas (Flache *et al*, 2015; Flache *et al*, 2016; Hernout *et al*, 2016; Flache *et al*, 2017; Mina *et al*, 2019; Timofieieva *et al*, 2021).

De las especies estudiadas se sugiere que *M. daubentonii* es un bioindicador eficaz de la contaminación por metales que integra la exposición a los metales a través de la ingesta de alimentos en toda su área de alimentación (Flache *et al*, 2015; Åkerblom y de Jong, 2017).

### **Estudios de bioacumulación de metales pesados en murciélagos**

El número de estudios que se ocupan del tema son 15 artículos, lo que constituye el 39.5% de todos los estudios. De estos 15, el 20% fue realizado por equipos de investigación en Pakistán. La mayoría de los estudios (11 investigaciones, 73%,) se centraron en bioacumulación, concentración y exposición de metales pesados en pelo, piel y patagio principalmente, y 4 investigaciones (27%) en hígado, riñones, pulmones y huesos principalmente.

Estos estudios investigan la concentración de metales pesados en murciélagos ya que se predijo en diferentes ocasiones que algunas especies habitan zonas contaminadas con metales pesados, los cuales también se encuentran presentes en concentraciones que representan un riesgo potencial para la salud de estos murciélagos (Hernout *et al*, 2015) Los resultados de las distintas concentraciones de MP entre especies distintas de un mismo hábitat sugieren que hay una relación entre la concentración de metales pesados y el gremio trófico (Hernout *et al*, 2016; Nighat *et al*, 2016).

Los muestreos generalmente utilizan un método no invasivo, lo que involucra no sacrificar a los individuos, se realiza mediante la muestra ya sea de pelo, piel y patagio o las tres, y para analizar hígado, riñones, pulmones y huesos, se utilizan individuos que murieron de manera natural en campo, sin alteraciones, o de colecciones científicas. Los resultados indican que estas muestras son viables para su comparación con los órganos internos. También existe una tendencia a utilizar machos para los muestreos, pues las hembras pueden transferir metales pesados a través de la lactancia y por tanto tienen mejor capacidad para eliminar metales en comparación de los machos; aunado a esto también se seleccionan individuos adultos para detectar con mayor aproximación la bioacumulación los cuales incrementan con la edad (Hernout *et al*, 2016; Becker *et al*, 2018; Heiker *et al*, 2018).

A pesar de la evidente correlación entre la concentración de metales pesados con el gremio trófico no se descartan las variables de la edad, muda, la ingesta de alimentos, fuente de

exposición del metal y la fisiología particular, como influencia de la variabilidad de las concentraciones intra e interespecífica. (Heiker *et al*, 2018; Pavón *et al*, 2018; Rahman *et al*, 2019).

### **Estudios de lesiones asociadas a metales pesados o predicciones**

El número de estudios que se ocupan del tema son 7 artículos lo que constituye el 18.4% de todos los estudios. De estos, el 28.5% fue realizado por equipos de investigación en Canadá. La mayoría de los estudios (5 investigaciones, 71%,) utilizaron métodos no invasivos y se buscó mercurio principalmente. La obtención de muestras no invasivas se realizó mediante pelo, piel y patagio de murciélagos, y en caso de las muestras de órganos internos se tomó mediante cadáveres de murciélagos en estado inalterado.

En los resultados asociados a la exposición de mercurio de manera crónica, declaran que generan una propensión a patógenos en la especie *Desmodusmus rotundus*, también el cerebro es el principal órgano afectado. Por otra parte, se encontraron lesiones óseas microscópicas en *Pteropus natalis* y disfunción renal, compatibles con los descritos en animales asociados a cadmio, en laboratorio (Little, 2015; Becker, 2017; Chételat *et al*, 2018; Ruiz *et al*, 2019; Pulscher *et al*, 2021).

En los resultados algunos estudios validan el uso de métodos no invasivos mediante el uso de pelo, piel y patagio o cadáveres de murciélagos que murieron de manera natural en estado inalterado, para la obtención de muestras de tejido interno, por lo que se alienta a utilizar métodos no invasivos para la obtención de muestras de acuerdo a lo consecuente (Lisón *et al*, 2017; Chételat *et al*, 2018). Estos estudios proyectan el estado de posibles afecciones en murciélagos asociados a MP, marcando una pauta para futuros proyectos, proponen tanto temas como rubros a evaluar, tal como: afecciones neuroquímicas, posibles efectos tóxicos, evaluación de la morfología del cuerpo como: masa, tamaño, forma del cráneo, mandíbulas y alas, hasta el comportamiento, en el cual puede influir, así como el análisis de la variación de la dieta como: alimentos terrestres en contraste con fuentes acuáticas.

### **Estudios de murciélagos como bioindicadores de metales pesados**

El número de estudios que se ocupan del tema son 5 artículos, lo que constituye el 13% de todos los estudios. De estos, el 40% fue realizado por equipos de investigación en Egipto. Estos

estudios evalúan la viabilidad de utilizar a los murciélagos como bioindicadores de contaminación por metales pesados. Los resultados indican que se pueden utilizar a los murciélagos como bioindicadores confiables, utilizando métodos de muestreo tanto invasivos como no invasivos. Se sugiere que el método no invasivo es muy favorable y popular por los resultados positivos, en cuanto a las muestras invasivas se realizó el sacrificio de los murciélagos mediante decapitación, en este caso avalado por el Comité de Ética Animal de la Universidad de Ain Shams y con el American Veterinary Medical Directrices de la Asociación para la Eutanasia de Animales y guano, asimismo se utilizó sobredosis intravenosa de pentobarbitona sódica de acuerdo con el protocolo IACUC de la ASM (Mansour *et al*, 2016; Sheta *et al*, 2019; Pulscher *et al*, 2020; Ramos-H *et al*, 2021; Toussaint *et al*, 2021).

## CONCLUSIÓN

La revisión previa de Zukał *et al*, (2015) y los resultados obtenidos en esta revisión indican que aún se mantienen las tendencias que dificultan el entendimiento del tema en cuanto al tiempo y el espacio en el que se realizan los estudios, y otras particularidades como las especies estudiadas, los metales y el enfoque del estudio. Aunque la tendencia de que se realicen estudios asociados a murciélagos y MP tuvo un incremento del 75%, que corresponde al 11% del total de países del mundo, de estos solo el 50% de las familias de murciélagos son estudiadas, sin embargo, el porcentaje mayor está enfocado en la familia Vespertilionidae con el 56%, el total de las especies estudiadas en los artículos corresponden al 4% del total de todas las especies reconocidas.

A pesar de que la célula es la unidad estructural y fundamental de los seres vivos, no se pueden extrapolar los resultados de los estudios citados por las propiedades particulares fisicoquímicas del ambiente y las propiedades fisiológicas, entre otras características de los murciélagos tal como el gremio trófico, como menciona Liu *et al*, (2018) se necesitan aproximadamente 297 estudios sobre la asociación de los MP más tóxicos (cadmio y plomo) para comprender el impacto que tienen en los murciélagos, esto pudiera sonar desatinado, sin embargo, pudieran ser más. Para llegar a el entendimiento del tema conlleva una amplia suma de parámetros o temas, como todo lo que engloba desde el estudio del sitio hasta los resultados posteriores de la remediación, esto continuaría el sesgo del entendimiento entre la relación de murciélagos y MP, por lo que se necesita una estandarización como en la mayoría de los artículos se argumenta. En los estudios con roedores y otros estudios en murciélagos, los resultados normalmente son usados

solo para suponer lo que podría estar sucediendo con los murciélagos, esta idea puede dar pie de poder realizar el mismo sistema de estudio como en los estudios ecotoxicológicos.

De los cinco temas identificados el método más utilizado en los estudios para los muestreos es el método no invasivo mediante pelo, piel, y patagio con el 63% por las implicaciones fisiológicas. El resto corresponde a muestras de individuos ya muertos y de guano, lo que correspondería al 89%.

La adición del conocimiento sobre los efectos asociados a MP es que permiten la proliferación de patógenos, y que hay transferencia de MP en la leche durante la lactancia, que no se suele estudiar o conocer.

Los temas más estudiados conllevan la bioacumulación de MP que representan el 39.5% de todos los estudios. De los 38 estudios analizados, el 83% son especies que no se utilizaron en otro estudio, durante el periodo de 2015 a 2021.

Las perspectivas para futuros proyectos como siguiente fase es realizar estudios ecotoxicológicos, que permitan la estandarización para la comprensión de la relación murciélago MP, estos estudios miden la concentración de MP en el sitio de estudio y en una cadena trófica, reflejando así la biomagnificación. Las muestras pueden ser tomadas tanto de pelo, piel o patagio por los buenos resultados que se han obtenido a partir de estas muestras como método no invasivo y moderno que contempla la conservación de las especies. También se recomienda que sean en hembras y machos, ya que los murciélagos son especies longevas y por la edad bioacumulan mayor cantidad de MP, sin embargo, se debe contemplar los factores de muda e hibernación. Estos resultados se comparan entre localidades cercanas con diferentes niveles de contaminación por MP. Esto permitiría avanzar en el conocimiento actual del tema, hasta llegar al punto de los efectos de los metales pesados en murciélagos y finalmente cómo reducir el riesgo de esta amenaza para la conservación de estas especies y compararlo una vez dada la remediación.

## REFERENCIAS

- Åkerblom, S., & de Jong, J. (2017). Mercury in furofDaubenton'sbat (*Myotisdaubentonii*) in SouthernSweden and ComparisontoEcotoxicologicalThresholds. *BulletinofEnvironmentalContamination and Toxicology*, 99(5), 561–566. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2206-3>



- Alcalá, J., Sosa, M., Moreno, M., Quintana, Q., Quintana, S., Miranda, A., & Rubio. (2008). Metales pesados en vegetación arbórea como indicado de la calidad ambiental urbana: Ciudad de Chihuahua, México. *Multequina*, 17(1), 39–54. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-73292008000100002&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73292008000100002&lng=es&tlng=en)
- Barquez, R. M., & Díaz, M.-M. (2020). *Nueva guía de los murciélagos de Argentina*.
- Becker, D. J., Chumchal, M. M., Bentz, A. B., Platt, S. G., Czirják, G., Rainwater, T. R., Altizer, S., & Streicker, D. G. (2017). Predictors and immunological correlates of sublethal mercury exposure in vampire bats. *Royal Society Open Science*, 4(4). <https://doi.org/10.1098/rsos.170073>
- Becker, D. J., Chumchal, M. M., Broders, H. G., Korstian, J. M., Clare, E. L., Rainwater, T. R., Platt, S. G., Simmons, N. B., & Fenton, M. B. (2017). *Mercury bioaccumulation in bats reflects dietary connectivity to aquatic food webs*. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.010>.
- Burneo, S., Proaño, M.-D., & Tirira, D. G. (2015). *Plan de acción para la conservación de los murciélagos del Ecuador*. (S. Burneo, M.-D. Proaño, & D. Tirira, Eds.; 1st ed., Vol. 1). Programa para la conservación de los murciélagos del Ecuador. Ministerio del ambiente.
- Burns, T. P. (1989). Lindeman's Contradiction and the Trophic Structure of Ecosystems. *Ecology*, 70(5), 1355–1362. <http://www.jstor.org> URL: <http://www.jstor.org/stable/1938195> <http://www.jstor.org/page/info/about/policies/terms.jsp>
- Caselli, M. (2000). *La contaminación atmosférica* (Sexta). Siglo XXI.
- Chételat, J., Hickey, M. B. C., Poulain, A. J., Dastoor, A., Ryjkov, A., McAlpine, D., Vanderwolf, K., Jung, T. S., Hale, L., Cooke, E. L. L., Hobson, D., Jonasson, K., Kaupas, L., McCarthy, S., McClelland, C., Morningstar, D., Norquay, K. J. O., Novy, R., Player, D., ... Zanuttig, M. (2018). Spatial variation of mercury bioaccumulation in bats of Canada linked to atmospheric mercury deposition. *Science of the Total Environment*, 626, 668–677. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.044>
- Cisneros, B. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Colegio de Ingenieros Ambientales de México.
- Clark, R. (2002). *Marine Pollution* (5th ed.). Clarendon Press.

- Coto, J. (2015). *Estudios de bioacumulación de un metal de interés en contaminación ambiental (plomo) en larvas de lubina de gran valor comercial*. Universidad de Cádiz.
- Encinas, M.-D. (2011). *Medio ambiente y contaminación. Principios básicos*. (1st ed.).
- Flache, L., Becker, N. I., Kierdorf, U., Czarnecki, S., Düring, R. A., & Encarnação, J. A. (2018). Similar but not the same: metal concentrations in hair of three ecologically similar, forest-dwelling bat species (*Myotis bechsteinii*, *Myotis nattereri*, and *Plecotus auritus*). *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5437–5446. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0884-3>
- Flache, L., Czarnecki, S., Düring, R. A., Kierdorf, U., & Encarnação, J. A. (2015). Trace metal concentrations in hair of three bat species from an urbanized area in Germany. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 31, 184–193. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.12.010>
- Flache, L., Ekschmitt, K., Kierdorf, U., Czarnecki, S., Düring, R. A., & Encarnação, J. A. (2016). Reduction of metal exposure of Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*) following remediation of pond sediment as evidenced by metal concentrations in hair. *Science of the Total Environment*, 547, 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.131>
- Frick, W. F., Kingston, T., & Flanders, J. (2020). A review of the major threats and challenges to global bat conservation. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Vol. 1469, Issue 1, pp. 5–25). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/nyas.14045>
- Giuffré, L., Ratto, ; Silvia, Marbán, ; Liliana, Schonwald, ; Janine, Romaniuk, R., Por, R., Pesados En, M., & Urbana, H. (2005). Heavy metals risk in urban agriculture. *Ciencia Del Suelo*, 23(1), 101–106.
- Heiker, L. M., Adams, R. A., & Ramos, C. V. (2018). Mercury Bioaccumulation in Two Species of Insectivorous Bats from Urban China: Influence of Species, Age, and Land Use Type. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 75(4), 585–593. <https://doi.org/10.1007/s00244-018-0547-5>
- Heinke, H. (1999). *Ingeniería ambiental*. Prentice Hall.
- Hernout, B. V., Arnold, K. E., McClean, C. J., Walls, M., Baxter, M., & Boxall, A. B. A. (2016). A national level assessment of metal contamination in bats. *Environmental Pollution*, 214, 847–858. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.079>

- Hernout, B. V., McClean, C. J., Arnold, K. E., Walls, M., Baxter, M., & Boxall, A. B. A. (2016). Fur: A non-invasive approach to monitor metal exposure in bats. *Chemosphere*, *147*, 376–381. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.104>
- Hernout, B. V., Pietravalle, S., Arnold, K. E., McClean, C. J., Aegerter, J., & Boxall, A. B. A. (2015). Interspecies variation in the risks of metal to bats. *Environmental Pollution*, *206*, 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.06.016>
- Jiménez, R., Martínez, M., & Peñalver, R. (2007). *Efecto del zinc sobre el crecimiento y desarrollo del niño con bajo peso al nacer* (Vol. 38, Issue 1). Enero-Marzo.
- Lisón, F., Espín, S., Aroca, B., Calvo, J. F., & García-Fernández, A. J. (2017). Assessment of mercury exposure and maternal-foetal transfer in *Miniopterus schreibersii* (Chiroptera: Miniopteridae) from southeastern Iberian Peninsula. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(6), 5497–5508. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8271-z>
- Little, M. E., Burgess, N. M., Broders, H. G., & Campbell, L. M. (2015). Mercury in little brown bat (*Myotis lucifugus*) maternity colonies and its correlation with freshwater acidity in Nova Scotia, Canada. *Environmental Science and Technology*, *49*(4), 2059–2065. <https://doi.org/10.1021/es5050375>
- Liu, S., Yu, W. H., Li, F., Zhao, J., Yin, R. Y., Zhou, Z. M., & Pan, B. (2018). Fertilizer application in rural cropland drives cadmium enrichment in bats dwelling in an urban area. *Environmental Pollution*, *242*, 970–975. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.079>
- Llatance, W. O., Gonza Saavedra, C. J., Guzmán Castillo, W., & Pariente Mondragón, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal Del Perú*, *33*(1), 63. <https://doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1156>
- Londoño-Franco, L., & Londoño-Muñoz, P. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *14*(2), 145–153.
- Mahmood Jawad, A., Jawad Alabbasy, A., Ali, L., & Mahmood Aljamali, N. (2019). A Literature Review on Types of Contamination (Biological, Chemical, Medical). *International Journal of Green Chemistry*, *5*(1), 7–14. <https://www.researchgate.net/publication/334122083>
- Martínez, C., Ros, G., Periago, M. de J., & Lopez, G. (1999). Biodisponibilidad del hierro en los alimentos. *Archivo Latinoamericano de Nutrición*, *49*(2), 106–113.
- Masindi, V., & Muedi, K. L. (2018). Environmental Contamination by Heavy Metals. *Heavy Metals*, *10*, 115–132. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76082>

- Medellín, R. A., & Viquez-R, L. R. (2014). Los Murciélagos como bioindicadores de la perturbación ambiental. *Bioindicadores: Guardianes de Nuestro Futuro Ambiental*. México: Editorial S y G, 521–539. <https://www.researchgate.net/publication/324991721>
- Mena, J. L. (2010). Responses of bat to forest fragmentation at Pozuzo, Peru. *Revista Peruana de Biología*, 17(3), 277–284. <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biologia/biologiaNEW.htm>
- Miller, J., & Levine, J. (2009). *Biology* (1st ed.). Pearson.
- Mina, R., Alves, J., Alves da Silva, A., Natal-da-Luz, T., Cabral, J. A., Barros, P., Topping, C. J., & Sousa, J. P. (2019). Wing membrane and fur samples as reliable biological matrices to measure bioaccumulation of metals and metalloids in bats. *Environmental Pollution*, 253, 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.123>
- Newman, M. (2009). *Fundamentals of ecotoxicology. The Science of Pollution* (Fourth). CRC press.
- Nighat, S., Sajid Nadeem, M., Mahmood, T., Rashid Kayani, A., Mushtaq, M., & Mahmood ul Hassan, M. (2016). Estimation of Heavy Metals in Indian Flying Fox *Pteropus giganteus* (Brünnich, 1782) from Punjab, Pakistan. In *Pakistan J. Zool* (Vol. 48, Issue 6).
- Pavón, A. D. (2018). *Exposure Assessment of Metals in Cave Dwelling Bats* [Doctoral thesis]. Universidade de Coimbra.
- Posada, M. (2006). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Revista EIA*, 6, 57–67.
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Heavy metal pollution in soils damaged by mining industry. *Ecología Aplicada*, 5(1), 149–155.
- Pulscher, L. A., Gray, R., McQuilty, R., Rose, K., Welbergen, J. A., & Phalen, D. N. (2021). Evidence of chronic cadmium exposure identified in the critically endangered Christmas Island flying-fox (*Pteropus natalis*). *Science of the Total Environment*, 766. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144374>
- Pulscher, L. A., Gray, R., McQuilty, R., Rose, K., Welbergen, J., & Phalen, D. N. (2020). Investigation into the utility of flying foxes as bioindicators for environmental metal pollution reveals evidence of diminished lead but significant cadmium exposure. *Chemosphere*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126839>
- Racero Casarrubia, J. (2022). Murciélagos importantes aliados como bioindicadores de calidad de hábitats. *Therya Ixmana*, 1(1), 26–28. [https://doi.org/10.12933/therya\\_ixmana-22-189](https://doi.org/10.12933/therya_ixmana-22-189)

- Racero-Cassarrubia, J. (2017). Heavy metals in bat (Chiroptera) species associated with a farm under silvopastoral management in the department of Córdoba, Colombia. *Acta Zoológica Mexicana*, 33(1), 45–54.
- Rahman, A., Choudhury, P., & Talukdar, N. R. (2019). Assessing Essential Trace Elements in Cave Nectar Bat (*Eonycteris spelaea*): A Study in Barak Valley of Assam, India. *Biological Trace Element Research*, 188(2), 451–460. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1431-x>
- Ramos-H, D., Medellín, R. A., & Morton-Bermea, O. (2020). Insectivorous bats as biomonitors of metal exposure in the megalopolis of Mexico and rural environments in Central Mexico. *Environmental Research*, 185, 109–293. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109293>
- Ruiz, S. R., Eeva, T., Kanerva, M., Blomberg, A., & Lilley, T. M. (2019). Metal and metalloid exposure and oxidative status in free-living individuals of *Myotis daubentonii*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.083>
- Schäfer, S., Buchmeier, G., Claus, E., Duester, L., Heininger, P., Körner, A., Mayer, P., Paschke, A., Rauert, C., Reifferscheid, G., Rüdell, H., Schlechtriem, C., Schröter-Kermani, C., Schudoma, D., Smedes, F., Steffen, D., & Vietoris, F. (2015). Bioaccumulation in aquatic systems: Methodological approaches, monitoring and assessment. *Environmental Sciences Europe*, 27(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0036-z>
- Sheta, B. M., & Beheary, M. S. (2019). Using Egyptian fruit bat (*Rousettus aegyptiacus*) as a bioindicator of environmental health, across some Egyptian Governorates. *Journal of Medical and Life Science*, 1(2), 2636–4107. [www.jmals.journals.ekb.eg](http://www.jmals.journals.ekb.eg)
- Soliman, K., & Soliman, S. (2016). Monitoring of heavy metals in the environment using bats as bioindicators: first study in Egypt. *Vespertilio*, 18, 61–78. <https://www.researchgate.net/publication/331022302>
- Souza, V., Eguiarte, L., Espinosa, L., & Equihua, C. (2012). *Biología*. Ediciones Castillo.
- Thompson, R. M., Hemberg, M., Starzomski, B. M., & Shurin, J. B. (2007). Trophic levels and trophic triangles: The prevalence of omnivory in real food webs. *Ecology*, 88(3), 612–617.
- Timofieieva, O., Świergosz-Kowalewska, R., Laskowski, R., & Vlaschenko, A. (2021). Wing membrane and Fur as indicators of metal exposure and contamination of internal tissues in bats. *Environmental Pollution*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116703>

- Toussaint, D. C., & Barnhoorn, I. E. J. (2021). Non-invasive sampling of bats reflects their potential as ecological indicators of heavy metal and trace metal contamination due to open cast diamond mining, northern Limpopo Province, South Africa. In *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-396952/v1>
- Turk, A. (2004). *Ecología, contaminación, medio ambiente*. McGraw Hill.
- Vargas Espinoza, A., Aguirre, L. F., Galarza, M. I., & Gareca, Y. E. (2006). Ensamble de murciélagos en sitios con diferente grado de perturbación en bosque montano del parque nacional Carrasco, Bolivia. *Mastozoología Neotropical*, 15(2), 297–308. <http://www.sarem.org.ar>
- Wang, S., & Shi, X. (2001). Molecular mechanisms of metal toxicity and carcinogenesis. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 222, 3–9.
- Wark, K. (2013). *Contaminación del aire, origen y control*. Limusa.
- Zukal, J., Pikula, J., & Bandouchova, H. (2015a). Bats as bioindicators of heavy metal pollution: History and prospect. In *Mammalian Biology* (Vol. 80, Issue 3, pp. 220–227). Elsevier GmbH. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2015.01.001>

Cuernavaca, Morelos a 12 de enero de 2023

**DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE**  
**DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**P R E S E N T E.**

Por este conducto, los catedráticos suscritos comunicamos a Usted, que hemos revisado el documento que presenta el Pasante de Biólogo: **ESTEBAN MONJARAZ MAYRET**, con el título del trabajo: **Murciélagos y metales pesados**.

En calidad de miembros de la comisión revisora, consideramos que el trabajo reúne los requisitos para optar por la Modalidad de Titulación Profesional por Tesis como lo marca el artículo 6° del Reglamento de Titulación Profesional vigente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por una humanidad culta*

**JURADO REVISOR**

**FIRMA**

PRESIDENTE: DR. JULIO CÉSAR LARA MANRIQUE

\_\_\_\_\_

SECRETARIO: M EN C. MONTSERRAT MONTER ROSALES

\_\_\_\_\_

VOCAL: DR. JOSÉ ANTONIO GUERRERO ENRÍQUEZ

\_\_\_\_\_

SUPLENTE: BIÓL. BLANCA NATIVIDAD GONZÁLEZ ZARIÑANA

\_\_\_\_\_

SUPLENTE: M EN C. JANETH ESTEVES AGUILAR

\_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**JULIO CESAR LARA MANRIQUE** | Fecha:2023-01-12 12:54:26 | Firmante

jTCAPzr/Sg2solGIMJzDEFCK7M+1Qami42Qsle9kl9a00h8hYNfAsZRY7bd9vyNef75epDWGObGuXPmQ7gH0KY7zqjuzdjJREWmfUfjSHqCfy7FUSS2o8nglzZwzWH2jV6YCuzUt  
kx+0m1d+WfwP3rb/QilxWSpbmgB1eqkj/+u0bdOAWrk0vRwmy5luRhB2Co2RCxVIULjoDlJUtGffecq0nU6U+WBUckHDmjE0qB/h+ZINEk+4XRdgabstP/wbYfqYkT9ys+p35Pc43s  
9zV32uaD2Cq0a+2qqTayFCdaZkC+GiLQGFNVh3AZ5jdmqdaRsACNnKazTU2KF8V9w==

**BLANCA NATIVIDAD GONZALEZ ZARIÑANA** | Fecha:2023-01-15 19:29:27 | Firmante

luk7JB0c5Yr9kWDKgrWktsWNswEe8rXIlbzORrqDIF3LPrUiZSBKIL6zJfPHTnsLu4u41qvDMiTFBib6xAmdWSJ0Ud+LIdPLmelxKr7fXIGg3PmhKNVRurUr0bhPqEPmbhg95/ZuFf  
BczXd6usSowzmJk+IRKX+cbiJHf6cBM+3TVSqyu2EiWxAw13VbRFKDB5wj01e+tnKOMaKSeWrg3FyPCM6uqEP04yqgLyDRaA+Rfcojo8ERxUOfNywJaG7ZmD6Kcx+u3FID  
zCOXsSfAVncppWf+AmuabvyC82mzsrJi92gmq0nVkdjKufprwlp4rgwnAJ2+dete00HXHZg==

**JANETH ESTEVES AGUILAR** | Fecha:2023-01-16 10:57:46 | Firmante

RKo2laua7QHSVLpD6X4CUzmcMypyrGnfCnr7aAALPLkJg9i+d5HExo9zTKi7E4FYcmliUTIGqyOlnm8r+mzA0uUAYMziQLUjT7/cphAOw+Qa+E+JBs/fK3UisNcflcn3r/hd0vkZ  
D9aRwtU3yB8DIRId2tj7zmbWDyDIIU1kWupPmnuA8JyW5GXKH4TECysfb/BslGXFbe5hV+3JjWwCZf42LODicOcDNHSLtqVEVQU7j5Lh1xsqUQbOleDcZoeqYxasK5Lla0/Rtc  
3sCXI4SMv8UKrWbQ5ba+Yg0GIVQooPi+Od7LSfvgR1DqkV1ffguVoVRvad9o7phIT9w==

**JOSE ANTONIO GUERRERO ENRIQUEZ** | Fecha:2023-01-19 11:00:06 | Firmante

jUYztKIBEEzA5XsGI8olsY7gp6bM3v7GjX99OS2df4xh/xaJETZYQXPRV0W0n9EVZfWJOHh26Ji7txjuUzVnO/AHQWH6PDWIAFy3C2pitg+Yy+S0wdjvoq/5lkhVBwSAA/hm2JApm  
BS2YHsNVgH9PTKB0+7E/ulbFdNp9xxyXuEfa7inGjYHptzz2ZJ3U7m0ap3AclUXosnctPy/k0sIRSB5yaDoE7848I7XWAIP5a5ydzvgZG+EX+Fd8lWk1xnKdvE6PTc2/m0oavPI7  
m8zEoYv/m/Ozhcg7WcRdMGNNoWGxVCwSN2qkxrQfk/TCsb6auxJGHcU+/oCOFIZO2jw==

**MONTERRAT MONTER ROSALES** | Fecha:2023-02-07 10:09:30 | Firmante

WqgPkPANrmYQw06cuZvaA6ptfQlenmWvDZHfQHppIG87RjSBAW+VZRGWkXpgqP7aGjtTovDfXrPmpcvshMz1OdEQPSG0WL11pa7BSgOlx5sS3VGVrKZx3BGKUMjPXFcb  
5XaV+LMXxtBuQaG8Cy/jqZqAmDPgupaAtmxOc40i/WrwyshJ+nnW0agemjA2SWRJVZj3J4tCCPBXJkcPenkATHxNu2B+XCrHysnf+thLQq5GW9N7ldcRSD2QnK+4dZYkUyK24  
dUwCzp7VrpbctRLiizI1OVIFQgJ5CdvCvsePws5UIhr2DMu4I6r/xhkbYx1c6TA2Q5cvkOSjcanng==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



**RMSBdVlqf**

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/oOTgfrn3eNsmfoDz3qpWB6hmcT0qEqGS>

