

**EVALUACIÓN DE CONTAMINANTES AMBIENTALES EN EL ENSAMBLAJE
DE MURCIÉLAGOS DE UN SECTOR DE OCUPACIÓN CAMPESINA DEL
PARQUE NACIONAL NATURAL PARAMILLO, CÓRDOBA- COLOMBIA**

Javier Alfonso Racero Casarrubia



**MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES, SUE-CARIBE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
MONTERÍA, 2021**

**EVALUACIÓN DE CONTAMINANTES AMBIENTALES EN EL ENSAMBLAJE
DE MURCIÉLAGOS DE UN SECTOR DE OCUPACIÓN CAMPESINA DEL
PARQUE NACIONAL NATURAL PARAMILLO, CÓRDOBA-COLOMBIA**

JAVIER ALFONSO RACERO CASARRUBIA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Magister en Ciencias Ambientales**

Director. JOSÉ LUIS MARRUGO NEGRETE, Ph.D.
Grupo de Investigación en Aguas Química Aplicada y Ambiental

Codirector. JESÚS BALLESTEROS CORREA, Ph.D.
Grupo Investigación Biodiversidad Universidad de Córdoba

**MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES- SUE-CARIBE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
MONTERÍA, 2021**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Evaluador 1

Evaluador 2

Director

Codirector

Montería, octubre 22 de 2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Manuel Racero Plaza (El Maño) y Mercy Casarrubia, a mis hermanos Wilber, Vanessa, Mario y mi abuelo Luis. A Katia Reyes, a Esteban Manuel, María Ángel y María José.

Gracias de todo corazón por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mis directores José Luis Marrugo y Jesús Ballesteros Correa por sus orientaciones y apoyo en cada de una de las fases de formación de mis cursos de Maestría.

A las comunidades campesinas de los sectores Llanos de Tigre y La Vereda Zancón por su acompañamiento en campo en la toma de recolección de las muestras.

A Mario Molina y Pedro Hernández Echavarría por su acompañamiento en campo para la recolección de las muestras. Y a Katia Reyes Cogollo por su ayuda en algunas fases del proyecto.

A Jairo Pérez Torres director del Laboratorio de Ecología Funcional (LEF) de la Universidad Pontificia Javeriana por su acompañamiento en la captura de los murciélagos, en la determinación de las especies, y por el depósito de los especímenes en la colección Teriológica de la Pontificia Universidad Javeriana.

A mis padres Manuel Racero Plaza y Mercy Casarrubia. A mis hermanos Vanessa, Mario y Wilber por su apoyo y motivación.

A José Pinedo Hernández, Edgar Patiño, Martha Guerra, María Tortello Dita, y a la Fundación para la Investigación y el Manejo de los Recursos Hidrobiológicos de la Región Caribe Colombiana George Dahl por su importante apoyo.

A la Universidad de Córdoba y al Grupo Investigaciones Biodiversidad de la Universidad de Córdoba por su apoyo en el desarrollo de la investigación.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES.....	2
2.1. LOS METALES PESADOS	2
2.2. PLAGUICIDAS.....	4
2.3 TOXICIDAD DE METALES PESADOS Y PLAGUICIDAS.....	6
2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS MAMÍFEROS SILVESTRES COMO BIOMONITORES	7
2.5 ANTECEDENTES	7
2.6 LA PRESENCIA DE PESADOS EN MAMÍFEROS.....	8
2.7 PRESENCIA DE PLAGUICIDAS EN MAMÍFEROS VOLADORES (QUIRÓPTEROS)	9
3. OBJETIVOS	11
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
4. METODOLOGIA.....	11
4.1 ÁREA DE ESTUDIO	11
4.2 MÉTODOS.....	13
ASPECTOS LEGALES Y ÉTICOS.	14
4.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL MATERIAL BIOLÓGICO	15
4.4 CONTROL DE CALIDAD DEL MÉTODO.....	16
4.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	18
5. RESULTADOS	18
5.1 CARACTERIZACIÓN DEL ENSAMBLE DE MURCIÉLAGOS.....	18
5.2 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN ESPECIES DE MURCIÉLAGOS.....	20
5.3 CONCENTRACIÓN DE PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS EN MURCIÉLAGOS.....	21
6. DISCUSION.....	25
6.1 METALES PESADOS	25
6.2 PLAGUICIDAS POC'S	28
6.4 LOS MURCIÉLAGOS COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINANTES	30
7. CONCLUSIONES.....	30
8. RECOMENDACIONES	31
9. BIBLIOGRAFIA.....	32
ANEXOS.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química del Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT).	5
Figura 2. Ubicación del Sector Manso –Tigre, zona intangible del PNN Paramillo. Los círculos señalan las zonas de muestreo.....	13
Figura 3. Estructuras de los diferentes compuestos organoclorados analizados ..	16
Figura 4. Composición (%) por gremios del ensamblaje de murciélagos registrados para el sector Manso-Tigre del Parque Nacional Natural Paramillo.	19

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de los metales pesados analizados en esta investigación.....	3
Tabla 2.Características principales de los compuestos objeto de estudio	16
Tabla 3. Límite de detección y recuperación del método	17
Tabla 4. Especies de murciélagos registrados para el sector Manso-Tigre del Parque Nacional Natural Paramillo durante el estudio.	19
Tabla 5. Concentraciones ($\mu\text{g/g}$) de metales pesados en hígado y músculo. Gremio: F= frugívoro, H=hematófago, I=insectívoro, C=carnívoro, O=omnívoro. .	20
Tabla 6.Concentraciones de plaguicidas organoclorados en hígado y músculo en murciélagos del sector Manso-Tigre del PNN Paramillo. Valores expresados en Microgramos por kilogramos ($\mu\text{g/kg}$). Gr: Gremio. F= frugívoro, H=hematófago, I=insectívoro, C=carnívoro, O=omnívoro.....	24

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Registros fotográficos de algunas especies de mamíferos voladores registradas en el sector Manso-Tigre, PNN Paramillo. Fotos: Jesús Ballesteros y Javier Racero-Casarrubia.	44
Anexo 2. Concentraciones de metales pesados (Cd, Cu, Hg, Pb y Zn) en músculo de murciélagos.	45

EVALUACIÓN DE CONTAMINANTES AMBIENTALES EN EL ENSAMBLAJE DE MURCIÉLAGOS DE UN SECTOR DE OCUPACIÓN CAMPESINA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL PARAMILLO, CÓRDOBA - COLOMBIA.

RESUMEN

La industrialización, el uso de agroquímicos en actividades agrícolas, la minería y uso inadecuado de fertilizantes, han causado concentración de contaminantes ambientales en los diferentes componentes bióticos de los ecosistemas. En este trabajo, se evaluó la presencia de metales pesados y plaguicidas organoclorados en el ensamblaje de murciélagos de un sector (Manso–Tigre) de ocupación campesina en el área del Parque Nacional Natural Paramillo, cuenca alta del Río Sinú, departamento de Córdoba. La concentración de metales pesados fue determinada por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito (Pb, Zn, Cd, Cu) y vapor frío (Hg); mientras que, por cromatografía de gases se realizó la determinación de plaguicidas organoclorados (Aldrin, Dieldrin, Endrin, Heptacloro epóxido, α -BCH, β BCH, γ -BCH, 2,4-DDD, 2,4-DDT, 4,4-DDE y 4,4-DDT). Las concentraciones de Zn halladas en hígado y músculo fueron mayores a las de Cu, Pb, Cd y Hg. Para la mayoría de las especies, la concentración de metales pesados encontrados en los diferentes tejidos fue $Zn > Cu > Pb > Hg$. Para el caso del contenido de plaguicidas organoclorados (POC) en hígado y músculo presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$). Las especies que presentaron mayor contenido de POC en hígado fueron: *Trachops cirrhosus* (α –BCH, γ –BCH, Endrin, pp-DDE), *Desmodus rotundus* (β –BCH), *Micronycteris microtis* (Aldrin), *Platyrrhinus helleri* (Heptacloro), *Phyllostomus hastatus* (pp-DDT); mientras que, en músculo, las especies *Trachops cirrhosus* (α –BCH, γ –BCH, Endrin, pp-DDE), *Artibeus planirostris* (β –BCH), *Micronycteris microtis* (Aldrin, Heptacloro) y *Phyllostomus hastatus* (pp-DDT). Metales encontrados como el Zn y el Cu en los tejidos analizados se debe a que cumplen funciones fisiológicas en los organismos y son reportados para mamíferos silvestres; mientras que, los metales como el Pb, Cd y Hg podría ser un indicador de que los murciélagos están expuestos a estos contaminantes, los cuales están ingresando a los organismos a través de la dieta. La contaminación por metales pesados y plaguicidas organoclorados en murciélagos posiblemente esté relacionada con el empleo de agroquímicos, pesticidas y compuestos fosfatados para el uso agrícola. Este estudio ratifica la importancia que tienen los murciélagos como grupo funcional en los ecosistemas, por lo tanto, puede ser usado como bioindicador de contaminación ambiental al indicar procesos de cambios o disturbios en los hábitats.

Palabras claves: Metales pesados, plaguicidas, murciélagos, contaminación ambiental, áreas protegidas, bosque húmedo tropical.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL POLLUTANTS IN THE ASSEMBLY OF BATS IN A SECTOR OF PEASANT OCCUPATION OF THE PARAMILLO NATURAL NATIONAL PARK, CÓRDOBA - COLOMBIA.

ABSTRACT

Industrialization, the use of agrochemicals in agricultural activities, mining and the inappropriate use of fertilizers have caused the concentration of environmental pollutants in the different biotic components of ecosystems. In this work, it was evaluated the presence of heavy metals and organochlorine pesticides in the assemblage of bats from a sector (Manso-Tigre) of peasant occupation of the Paramillo National Natural Park, upper Sinu River basin, Córdoba department, was evaluated. The concentration of heavy metals was determined by atomic absorption spectrophotometry with graphite furnace (Pb, Zn, Cd, Cu) and cold vapor (Hg), while for determination of organochlorine pesticides (Aldrin, Dieldrin, Endrin, Heptachlor epoxide, α -BCH, β BCH, γ -BCH, 2,4-DDD, 2,4-DDT, 4,4-DDE and 4,4-DDT) was done by gas chromatography. The concentrations of Zn found in liver and muscle were higher than those of Cu, Pb, Cd and Hg. For most species, the concentration of heavy metals found in the different tissues was Zn > Cu > Pb > Hg. For the case of organochlorine pesticide (POC) content in liver and muscle, there were significant statistical differences ($p < 0.05$). The species with the highest POC content in the liver were *Trachops cirrhosus* (α -BCH, γ -BCH, Endrin, pp-DDE), *Desmodus rotundus* (β -BCH), *Micronycteris microtis* (Aldrin), *Platyrrhinus helleri* (Heptachlor) *Phyllostomus hastatus* (pp-DDT); while in Muscle the species *Trachops cirrhosus* (α -BCH, γ -BCH, Endrin, pp-DDE), *Artibeus planirostris* (β -BCH), *Micronycteris microtis* (Aldrin, Heptachlor) and *Phyllostomus hastatus* (pp-DDT). Metals found as Zn and Cu in the tissues analyzed are due to their physiological functions in organisms and are reported for wild mammals, while metals such as Pb, Cd and Hg could be an indicator that bats are exposed to these contaminants, which are entering the organisms through the diet. Contamination by heavy metals and organochlorine pesticides in bats is possibly related to the use of agrochemicals, pesticides and phosphate compounds for agricultural use. This study confirms the importance of bats as a functional group in ecosystems, as a bioindicator of environmental contamination when indicating changes or disturbances in habitats.

Key words: Heavy metals, pesticides, bats, environmental pollution, protected areas, tropical rainforest.

1. INTRODUCCIÓN

Entre la gran diversidad ecosistémica del planeta, se considera que no existe un ecosistema que pueda estar exento de trazas de actividad humana, incluso los ambientes más alejados de toda colonización, presentando niveles significativos de diversos agentes potencialmente contaminantes, que son transportados por los movimientos atmosféricos, corrientes marinas y diversos fenómenos del clima (Herrera y Rodríguez, 2010), además de los contaminantes derivados de los procesos naturales. Por lo tanto, los gestores y legisladores necesitan información referente a los peligros potenciales que pueden causar ciertas sustancias químicas, para así establecer las valoraciones de riesgo adecuadas con el fin de asentar límites seguros y prevenir la degradación ambiental (Zurrita et al. 2015).

La mayoría de los estudios en toxicidad ambiental son realizados en mamíferos terrestres, especialmente en grandes mamíferos, teniendo en cuenta que estos presentan mayor potencial de acumulación de residuos contaminantes (Sevillano 2013). En este trabajo, se emplearon a los murciélagos como un grupo biomonitor de contaminantes, por presentar casi todos los hábitos alimenticios (frugivoría, insectivoría, nectarivoría, carnivoría y hematofagia), y por participar activamente en el reciclaje de nutrientes y flujos de energía en los ecosistemas (Medellín et al. 2014).

Pese a que en la región de Córdoba-Colombia, en algunos sectores de las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge se ha detectado niveles de contaminación ambiental por metales pesados como el mercurio en aguas, peces y sedimentos (Marrugo-Negrete et al. 2007, Feria et al. 2010), se considera que en la cuenca alta del río Sinú al interior del Parque Nacional Natural Paramillo, no existe información referente a contaminantes ambientales como plaguicidas y metales pesados. Un bioma de bosque húmedo tropical (bh-T) considerado estratégico por los bienes y servicios ecosistémicos como la producción de agua, regulación del clima y reservorio de una gran biodiversidad. Sin embargo, a pesar de ser un área

protegida, existen procesos de intervención antrópica que indiscutiblemente están generando problemas de contaminación por metales pesados y plaguicidas asociados a procesos de alteración al interior del parque natural. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar los contaminantes ambientales pesados cadmio, cobre, mercurio, plomo, zinc y plaguicidas organoclorados y organofosforados en el ensamblaje de murciélagos de un sector de la zona de recuperación natural del Parque Nacional Natural Paramillo en Tierralta, Córdoba.

2. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

2.1. Los metales pesados

La industrialización, el desarrollo tecnológico, las actividades agrícolas, la minería y uso inadecuado de fertilizantes, han causado que las concentraciones de metales pesados se encuentren en niveles elevados en diversos ecosistemas del planeta (Waisberg et al. 2013). Al ser emitidos a la atmósfera, los elementos metálicos pueden transportarse por el viento para luego depositarse lejos de su origen en el suelo, agua, vegetación y fauna (Imperato et al. 2003). Los metales pesados agrupan sustancias como cadmio y mercurio (principales contaminantes), plomo, cobre, cromo, cobalto, molibdeno, níquel, estaño, titanio, vanadio, zinc y plata. Estos elementos constituyen un riesgo serio para el medio ambiente, ya que los organismos son incapaces de metabolizarlos debido a su gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación; y, en consecuencia, se produce bioacumulación en la cadena trófica, con efecto multiplicador en la concentración del contaminante.

Este tipo de contaminantes alcanzan altos niveles de toxicidad y se absorben muy eficientemente a través de las membranas biológicas, gracias a su elevada afinidad química por el grupo sulfidrilo de las proteínas (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León 2006). Por su elevada toxicidad, tiempo de exposición y bioacumulación, generan una alarmante preocupación por sus efectos teratogénicos, causa de mutaciones, daños en órganos vitales y cáncer,

dependiendo del tipo de metal (Combariza, 2009; Nava-Ruíz y Méndez-Armenta 2011), y sus propiedades (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades de los metales pesados analizados en esta investigación.

Metal	# atómico	Masa atómica	T de fusión (°C)	Densidad g/cm³
Cd	48	112.41 u ± 0.008 u	321.1	8.65
Cu	29	63.546 u ± 0.003 u	1,085	8.96
Hg	80	200.59 u ± 0.02 u	- 38.83	13579.04
Pb	82	207.2 u ± 0.1 u	327.5	11.3
Zn	30	65.38 u ± 0.002 u	419.5	7.14

Las principales vías de exposición de los metales pesados en mamíferos son la vía respiratoria y la ingestión de los alimentos (Pokorny et al. 2004). Las diferencias en las concentraciones de metales pesados como plomo, cadmio, cobre y zinc, pueden darse debido al grado de exposición a la fuente contaminante, al tipo de dieta o a la variación en la asimilación existente entre las especies y entre organismos (Hoenerhoff y Williams 2004, Walker et al. 2007). Las concentraciones mínimas y de tolerancia, también varían de un animal a otro y periódicamente en el mismo individuo. Algunas de las características de los metales pesados analizados en este trabajo, se describen a continuación.

El **zinc** (Zn) está presente en la corteza terrestre en una concentración media de 70 mg/kg donde no se suele encontrarse en forma libre, sino formando complejos con sulfuros, carbonatos y óxidos. Se emplea para formar aleaciones con otros metales como el níquel y aluminio.

Al **Cadmio** (Cd) no se le atribuye función fisiológica alguna y es considerado extremadamente tóxico, con efectos embriotóxicos, teratogénicos o incluso mutagénicos (Reilly 1980, Guitart 2002). En los ecosistemas es de alta peligrosidad, ya que es absorbido con facilidad por la fauna y concentrado en sus tejidos. Posterior a su absorción se combina con las metalotioneínas

acumulándose en órganos diana como riñones, hígado y órganos reproductores (Navarro-Aviñó et al. 2007).

El **plomo** (Pb), por su abundancia en la naturaleza en sus diferentes formas y ser muy utilizado a nivel industrial, es considerado altamente contaminante. En ambientes naturales aflora por la degradación de suelos, la exposición o desgaste de los depósitos minerales del mismo. Generalmente está asociado a minerales como la galena, la anglesita, cerusita y emanaciones volcánicas. A nivel industrial tiene muchas aplicaciones por su gran resistencia a la meteorización y a la acción de los ácidos. Este metal y sus derivados se encuentran diseminados en el ambiente, siendo posible encontrarlos en las plantas, animales, en el aire, en el agua, en el polvo, en el suelo, en ecosistemas de ríos, océanos, lagos, entre otros. (ATSDR 1993). La absorción de plomo por los organismos es lenta, y su eliminación es más lenta aún, de ahí su tendencia a bioacumularse. Uno de los primeros síntomas de envenenamiento por acumulación de plomo en los animales es la anemia (Navarro-Aviñó et al. 2007). Acumulándose primordialmente en el hígado y en el músculo (Melanen et al. 2000).

2.2. Plaguicidas

Los plaguicidas son una sustancia o mezclas de sustancias diseñadas para repeler o controlar plagas; entiéndase como plaga a aquellos organismos que atacan cultivos o al hombre mismo (Cañedo et al. 2011). A nivel mundial el uso de plaguicidas es una práctica generalizada, que debido al uso popular y desmedido ha traído como consecuencia contaminación en los ecosistemas, impactando la flora y la fauna; así como la contaminación de los alimentos que luego son consumidos por el hombre. Los plaguicidas pueden ser transportados a distancias remotas a través del aire y las aguas corrientes, y al igual que los metales pesados también pueden bioacumularse en los organismos a través de la cadena trófica. Estas sustancias también pueden acumularse en los suelos, sedimentos de cuerpos de agua, y así entrar a la cadena trófica causando alteraciones en el

sistema inmunológico y endocrino de los seres vivos, y posiblemente desarrollar cáncer, reducir la fertilidad, su reproducción y muerte (Cobos-Gasca et al. 2011).

Se considera que los compuestos organoclorados fueron los primeros plaguicidas de origen sintético ensayados masivamente para el control de plagas (Ramírez y Lacasaña 2001). Su característica de baja solubilidad en agua y gran liposolubilidad, favorece la alta persistencia en el ambiente y bioacumulación. Uno de los plaguicidas más conocidos es el DDT o Dicloro difenil tricloroetano (1,1,1-tricloro-2,2 bis-etano) de formula $(ClC_6H_4)_2CH$, que aparece por primera vez en el siglo XIX (Figura 1). Y para la década del 70 se empezaron a evidenciar los efectos perjudiciales que se producían sobre los seres vivos, entre estos la bioacumulación en seres humanos (Fernández et al. 2003). Lo anterior conllevó a una nueva generación de estos compuestos orgánicos persistentes (COPs), que tienen una vida media más corta que los organoclorados, con menos bioacumulación en las cadenas tróficas, pero más tóxicos a corto plazo.

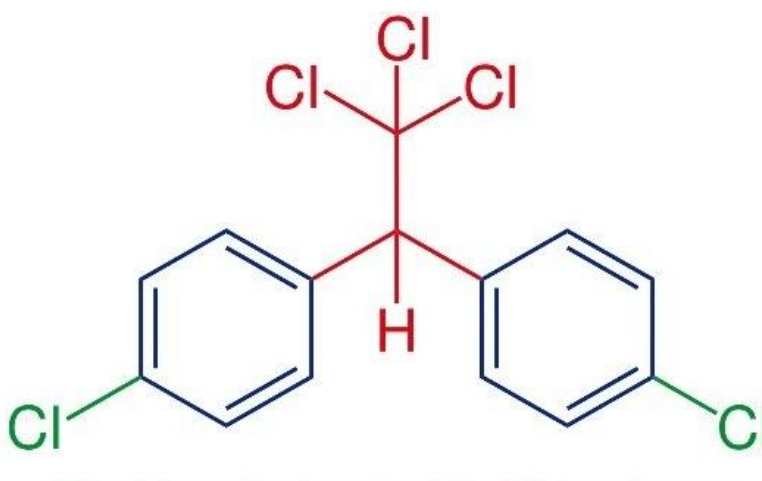


Figura 1. Estructura química del Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT).

Dentro de la fauna silvestre, los mamíferos y grupos especializados como los murciélagos (Quirópteros), tienen particularidades que los hacen muy sensibles a

la contaminación por los plaguicidas y especialmente a los pesticidas. El tamaño pequeño, metabolismo acelerado y gran longevidad de los murciélagos, además de ser un grupo diversificado a nivel de gremios tróficos encontrando especies en posiciones elevadas de la cadena alimenticia, facilita la bioacumulación de cantidades elevadas de contaminantes (Alleva et al. 2006).

2.3 Toxicidad de metales pesados y plaguicidas

Con base a sus efectos sobre los organismos vivos, los metales pesados se distinguen en dos grandes grupos: los primeros son aquellos que no tienen una función biológica conocida (principalmente Cd, Hg, Pb, As, Sb, Bi) y los segundos son los considerados oligoelementos o micronutrientes (B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn, entre otros). La presencia de los primeros en seres vivos, aunque sean en concentraciones mínimas producen disfunciones orgánicas. Los oligoelementos son considerados como micronutrientes que se requieren en pequeñas cantidades por las plantas y animales, y son considerados necesarios en ciclos vitales de la biota; sin embargo, un incremento de su concentración también puede volverlos tóxicos (El-Nouri 2009).

En lo que se refiere a los metales, según el tiempo y nivel de exposición pueden presentar formas de toxicidad aguda o crónica. La toxicidad aguda se da por el consumo de agua, alimentos o por exposición ocupacional, presentando síntomas como el síndrome gastrointestinal agudo, disfunción renal y neurotoxicidad, entre otros. Entre las formas crónicas de toxicidad se pueden dar por consumo de agua, alimentación, ingestión vía aérea o contacto con suelos contaminados. La exposición crónica a estos contaminantes se relaciona con diferentes tipos de cáncer, hiperqueratosis, hiper o hipopigmentación de la piel, cuando es contaminación con Arsénico, inflamación de las vías respiratorias, insuficiencia renal, dermatitis, problemas neurológicos y reproductivos como feto-toxicidad, teratogenicidad, y aborto espontáneo (Nava-Ruiz y Méndez-Armenta 2011).

2.4 Características de los mamíferos silvestres como biomonitores

Al igual que todos los seres vivos, los mamíferos pueden bioacumular contaminantes ambientales durante su vida, condición que los convierte en herramientas útiles como bioindicadores para evaluar los impactos de las actividades antrópicas (Medellín y Viquez 2014). Entre las características que los hacen buenos bioindicadores están: tamaños corporales mayores al de otros organismos, lo que facilita la toma de muestras para análisis químicos, la determinación de edad, y la identificación taxonómica; las preferencias alimenticias permite evaluarlos en diferentes posiciones de las cadenas alimenticias; por acumular altos niveles de contaminantes pueden ser considerados como biomonitores, que reflejan fielmente la contaminación presente en su hábitat, ya sea en recursos alimenticios, suelo, agua o aire (Tataruch y Kierdorf 2003), considerándose buenos indicadores de la contaminación por metales pesados (Chyla et al. 2000).

En cuanto a los murciélagos neotropicales, se reconoce que son sensibles a cambios ocasionados por el hombre en el uso del suelo y en los ecosistemas. Por lo que diferentes autores los proponen como bioindicadores para evaluar los efectos de las perturbaciones humanas que inducen cambios en los mismos (Medellín et al. 2000, Castro-Luna et al. 2007, Hayes y Loeb 2007), considerándolos como un excelente grupo indicador ecológico de calidad de hábitat (Wickramasinghe et al. 2003, Kalcounis-R et al. 2007).

2.5 Antecedentes

Se reconoce que los agentes contaminantes en los ecosistemas son movidos o transportados por las masas de aire, las corrientes marinas o por diferentes fenómenos atmosféricos desconociendo los posibles efectos. Por lo anterior, es importante las evaluaciones del estado toxicológico de los ecosistemas, para dilucidar los problemas asociados con la presencia de contaminantes en el ambiente. Lo anterior permite disponer de datos confiables y contrastados sobre cómo se comportan estas sustancias y sus efectos a nivel global (Ballester et al.

2005). La información que se obtenga será de gran utilidad en la toma de decisiones respecto a los peligros que pueden causar dichas sustancias y así establecer los riesgos, definir límites permisibles y prevenir la degradación ambiental (Mendoza et al. 2008).

Pese a la importancia de este tema para América Latina, es escasa la información que documente este problema. Allsopp y Erry (2000) realizaron una revisión y sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) y no reportan información para fauna tetrapoda como anfibios, reptiles y mamíferos. Algo preocupante ya que Zakrzewski (1991) plantea que estos estudios son de gran importancia como indicadores de la acumulación de xenobióticos en fauna silvestre. El primer trabajo que puso de manifiesto esta problemática fue Badii et al. (2005), quienes se enfocaron en los daños que estaba produciendo la primera generación de plaguicidas organoclorados y su gran capacidad para afectar a la vida silvestre, así como en sus impactos subletales en la reproducción y el sistema inmune.

2.6 La presencia de Metales pesados en mamíferos

Diferentes trabajos documentan o reportan metales pesados en mamíferos silvestres como cetáceos, úrsidos, cérvidos, cánidos, suidos, camélidos, mustélidos y bóvidos (Evans et al. 2000; Dip et al. 2001; Woshner et al. 2001; Kierdorf y Kierdorf 2002; Ruelas et al. 2003; Custer et al. 2004; Lazarus et al. 2005; Cámara et al. 2006; Sonne et al. 2007). Para el caso de metales pesados en mamíferos voladores (murciélagos) Hickey et al. (2001), reportan trazas de mercurio, zinc, selenio, aluminio y hierro en cuatro especies de la familia Vespertilionidae (*M. lucifugus*, *M. leibii*, *M. septentrionalis* y *E. fuscus*) en Ontario y Quebec (Canadá); además del trabajo de Thies y Gregory (1994) donde registran contaminación por cadmio y arsénico en murciélagos de la especie *T. brasiliensis* en las cavernas de Carlsbad y Vickery al noreste de Oklahoma. En reino Unido, Walker et al. (2007) reportan contaminación por metales pesados en murciélagos insectívoros; para Sur-América, especialmente en Brasil, se ha detectado daño en el ADN de células sanguíneas por metales pesados en tres especies de murciélagos insectívoros (*Molossus molossus*, *Tadarida brasiliensis* y *Eptesicus*

diminutus) presentes en minas de carbón (Zocche et al. 2010); y en Perú, Williams et al. (2010) reportaron concentraciones de plomo, cadmio, cobre, y zinc en tres géneros de murciélagos (*Carollia*, *Anoura* y *Sturnira*) presentes dentro y en los alrededores del Lodge “Cock of the Rocks” (Kosñipata, Cuzco, Perú). Los trabajos más recientes que hacen aportes al tema de metales pesados en murciélagos, son el de Yates et al. (2014) que analizan muestras de diez especies de murciélagos provenientes del noreste de los Estados Unidos, encontrando contaminación por Hg en sangre y piel. Y la contribución de Racero-Casarrubia et al. (2017) en donde se reportan metales pesados en ocho especies de murciélagos de las familias Phyllostomidae y Emballonuridae, presentes en una finca ganadera de la zona costanera del departamento de Córdoba, Colombia.

Debido a la gran diversidad de los murciélagos y a la variedad de gremios tróficos que integran (insectívoros, frugívoros, nectarívoros, hematófagos, carnívoros, omnívoros), los murciélagos acumulan metales a través de su dieta, siendo los más vulnerables los animales jóvenes, las hembras preñadas, lactantes, desnutridos o enfermos (Walker et al. 2007). La época o temporada climática puede influir en las concentraciones de metales, ya que ésta determina la oferta de alimento, la entrada de minerales al entorno y la absorción de los elementos por parte de las plantas (Espinoza 2000). En los animales, los metales pesados son bioacumulados y excretados por órganos diana, tales como el hígado y el páncreas (Rodríguez et al. 2010).

2.7 Presencia de plaguicidas en mamíferos voladores (Quirópteros)

Los murciélagos son organismos de pequeño tamaño, metabolismo acelerado, vida larga y están en posiciones elevadas en la cadena trófica de las comunidades ecológicas, haciéndolos sensibles a los pesticidas, y a la bioacumulación en cantidades elevadas de contaminantes en sus tejidos (O’Shea y Johnson 2009). Los efectos de la exposición de murciélagos a pesticidas organoclorados sólo ha sido documentado para un pequeño grupo de especies de murciélagos (Clark y Krynsky 1983, Clawson y Clark 1989; Thies y McBee 1994, Thies et al. 1996,

Méndez y Álvarez-Castañeda 2000, Clark y Shore 2001), con especial atención en la especie *Tadarida brasiliensis*, reportado afecciones negativas del uso fitosanitario de organoclorados sobre poblaciones de murciélagos estadounidenses y mexicanos (Geluso et al. 1976, Clark 2001, Bennett y Thies 2007). Para el caso de Colombia, no existen trabajos que hagan aportes sobre este tema de contaminantes ambientales en mamíferos voladores.

En algunas colonias de *Myotis grisescens* al sureste estadounidense, presentaron mortalidades inducidas por el uso de organoclorados en campos colindantes, que llevaron incluso a la desaparición de una colonia (Clark et al. 1978, Clawson 1991). Thies y Thies (1997) identificaron la presencia de organoclorados en *T. brasiliensis* y *M. velifer* de cuevas del Río James en Texas (USA); y O'Shea et al. (2001) registraron contaminación por DDE, DDT, arsénico y mercurio en *Eptesicus fuscus* para el Parque Nacional Rocky Mountain Arsenal (RMA - National Wildlife) en Denver Colorado.

En España, González et al. (1990) encontraron concentraciones de plaguicidas en tres especies de murciélagos de cuatro áreas diferentes de España; asimismo, encontraron más restos de plaguicidas en las áreas con uso agrícola más intensivo. La evaluación de la presencia de residuos de organoclorados en dos especies de murciélagos reportó el DDE (diclorodifenildicloroetano) como uno de los más importantes contaminantes encontrados en todas las localidades. Hernández et al. (1993) y Guillen et al. (1994), reportan la contaminación por organoclorados en *Pipistrellus pipistrellus*, la cual se encuentra incluida en las listas rojas de países europeos y en Asia en el sur de la India, y en donde se tienen reportes de la acumulación de plaguicidas organoclorados y Bifenilos Piliclorinados en las especies *Pteropus madanus* y *Pipistrellus pipistrellus* (Senthilkumar et al. 2001).

El trabajo de Badii et al. (2009) reporta afectaciones a las poblaciones de pequeños mamíferos en zonas de cultivos donde se aplican compuestos

organofosforados. Los mamíferos terrestres afectados son la musaraña (*Sorex cinereus*), la musaraña pigmea (*Sorex. Hoyi*), la musaraña de cola corta (*Blarina brevicauda*), el ratón venado (*Peromyscus maniculatus*) y el ratón rojo de campo (*Clethrionomys gapperi*).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar la presencia de metales pesados y plaguicidas organoclorados en el ensamblaje de murciélagos en un sector de ocupación campesina del Parque Nacional Natural Paramillo, cuenca alta del Río Sinú, Córdoba- Colombia.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las concentraciones de metales pesados (Cd, Cu, Hg, Pb y Zn) y plaguicidas organoclorados en tejido muscular y hepático de murciélagos del sector Manso–Tigre, al interior del Parque Nacional Natural Paramillo.
- Comparar la acumulación biológica de residuos contaminantes entre las diferentes especies y gremios de murciélagos.
- Establecer las posibles causas de la presencia metales pesados y plaguicidas organoclorados en el ensamblaje de murciélagos.

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudio

El estudio se realizó en el sector Manso-Tigre, en las veredas Zancón cuenca del río Manso (07°40′02.5″ N– 076°05′50″ W) y Llanos del Tigre (07°36′49.5″ N–

076°00'44" W), un área de bosque húmedo tropical (bh-T), localizada en una zona de ocupación campesina al interior del Parque Nacional Natural Paramillo (PNNP), municipio de Tierralta, departamento de Córdoba, Colombia, (Figura 2). El PNNP forma parte de las 62 áreas protegidas que componen el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, y se localiza al extremo norte de la cordillera Occidental, formando parte de las serranías de Abibe, San Jerónimo y Ayapel, en jurisdicción de los departamentos de Córdoba y Antioquia.

Esta región cuenta con temperatura media anual de 27°C para las tierras con altitud aproximada de 100 metros, y 3°C para zonas con altitudes de 3900 metros. La precipitación media sobrepasa los 2400 mm/año, con una humedad relativa promedio anual de 84.6% (PNNP 2005). Los sitios de los muestreos se caracterizaron por tener un gradiente altitudinal de 190 m hasta 450 m, con alta diversidad vegetal arbórea (Hernández-Camacho et al. 1992), predominando grandes fragmentos de vegetación de unas 1500 ha, donde a nivel florístico las familias más diversas son las Rubiaceae, Arecaceae, Moraceae, Mimosaceae y Caesalpinaceae (PNN 2005). El patrón de distribución de las lluvias para el área de estudio es de tipo unimodal-biestacional, con promedio de precipitación anual igual o superior a 3.200 mm (Palencia-Severiche et al. 2006).

La zona de estudio corresponde a uno de los 21 sectores de ocupación campesina que tienen el PNN-Paramillo y se caracteriza por presentar una cobertura vegetal de selva húmeda tropical, con presencia de comunidades campesinas que practican la agricultura de pancoger, ganadería, extracción de madera, cacería y siembra de cultivos ilícitos.

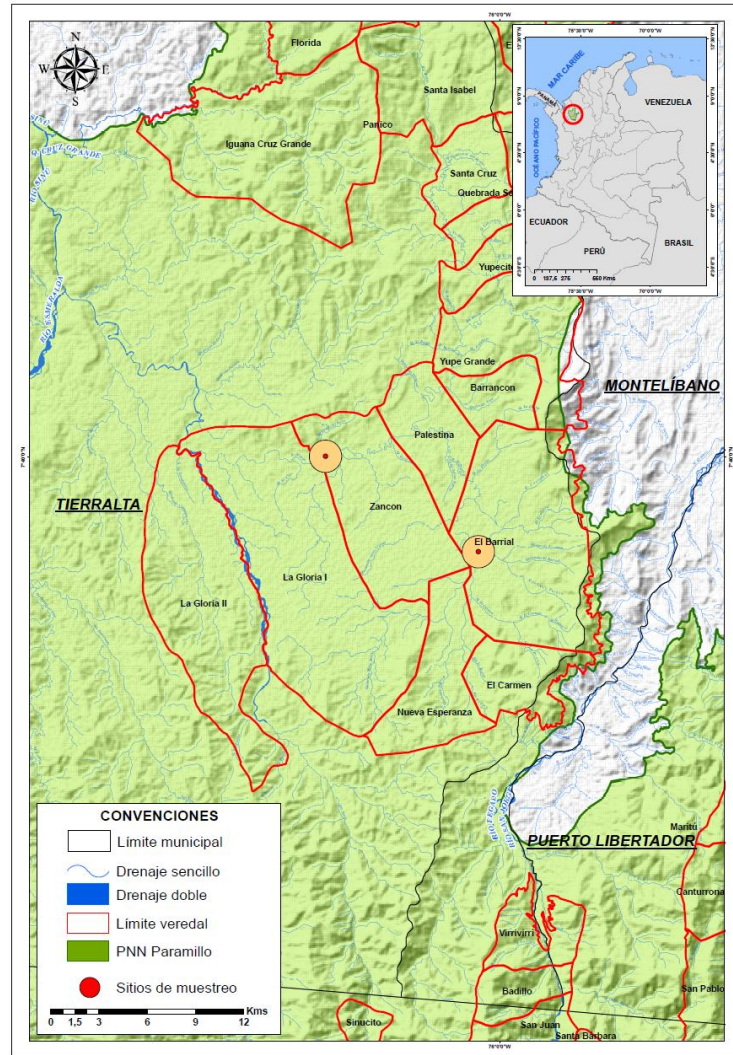


Figura 2. Ubicación del Sector Manso –Tigre, zona intangible del PNN-Paramillo. Los círculos indican las zonas de muestreo en el área protegida.

4.2 Métodos

4.2.1 Muestreo, procesamiento y recolección de muestras biológicas

El muestreo se realizó del 1-15 junio 2009, y los murciélagos fueron capturados siguiendo la metodología descrita por Kunz et al. (1996a), utilizando diez redes de niebla, que fueron desplegadas durante la noche desde las 18:00 hasta las 06:00 horas. Los murciélagos capturados fueron depositados en bolsas de tela de forma individual, transportadas hasta el campamento donde se procesaron, registrando los datos morfométricos, edad relativa, peso y sexo; y se identificaron

preliminarmente siguiendo las claves taxonómicas de Fernández et al. (1988), Tim y LaVal (1998) Linares (2000), y las descripciones de Gardner (2007). Los individuos colectados se procesados y prepararon según los procedimientos y observaciones de Hall (1996) y Yates *et al.* (1996).

Una vez registrada la información básica, se procedió al sacrificio de los animales seleccionados para el muestreo de material biológico. Las muestras de tejido fueron obtenidas utilizando instrumental quirúrgico como pinzas y bisturís en acero inoxidable. Para la realización de los análisis de laboratorio, se tomaron muestras de mínimo 0.5 gramos de tejido muscular y hepático, de mínimo cinco individuos por especie capturada. Las muestras fueron codificados, empacados por separado en recipientes de plástico y refrigeradas en hielo para su transporte al laboratorio. La piel y cráneo de los murciélagos colectados, fueron preparados como *especímenes Boucher* y depositados en una colección de referencia. Y los animales que no fueron colectadas (hembras preñadas) se marcaron con tatuadora en el mesopatagio y luego liberadas al medio.

La determinación de los gremios tróficos está basada en las estrategias de búsqueda y consumo de alimento propuestas por Soriano (2000), y la clasificación nomenclatural en general, se siguió a Simmons (2005); para las especies de los géneros *Artibeus* y *Dermanura* se consultó a Hooper *et al.* (2008). Para la especie *Sturnira parvidens* se sigue el arreglo taxonómico propuesto por SturVelazco y Patterson (2014).

Aspectos legales y éticos.

La colecta de material biológico estuvo amparada dentro del proyecto de Monitoreo y Vigilancia de los Valores Objeto de Conservación (VOC) del Parque Nacional Natural Paramillo, y el proyecto “Introducción a la Diversidad Faunística del Departamento de Córdoba”. Sólo se colectaron individuos adultos, para el caso de la colecta de hembras no se sacrificaron animales preñadas. Las pieles y cuerpos de los individuos colectados reposan el Museo Javeriano de Historia Natural Lorenzo Uribe Uribe de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, bajo el número de catálogo (MUJ 1493-1527), una colección biológica registrada ante

el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial y el Instituto Alexander von Humboldt.

4.3 Análisis de laboratorio del material biológico

4.3.1. Metales pesados

Las concentraciones de mercurio total (Hgr) se determinó por espectrofotometría de absorción atómica con vapor frío (CV-AAS), previa digestión ácida de 0,5 g de cada muestra con H₂SO₄ / HNO₃ (2:1) durante dos horas a 100°C (Sadiq et al. 1991). El análisis de metales (Cu, Pb, Cd, Zn) se realizó por espectrofotometría de absorción atómica acoplado a horno de grafito (previa digestión ácida de la muestra (0,5 g) con HNO₃ / HCl (3: 1) durante 3 horas a 95°C (Hülya y Erhan 2007). El equipo empleado para la determinación fue el espectrofotómetro de absorción atómica, Thermo Scientific, modelo de ICE Serie 3500.

4.3.2. Plaguicidas

Para la extracción de los plaguicidas organoclorados (Aldrín, Dieldrín, Endrín, Heptacloro epóxido, α -BCH, β -BCH, γ -BCH, 2,4-DDD, 2,4-DDT, 4,4-DDE y 4,4-DDT) presente en las muestras, se utilizó el método Soxhlet usando una mezcla de hexano:acetona (1:1), con posterior limpieza de los extractos por medio de extracción en fase sólida. Las principales características de los plaguicidas objeto de análisis en este trabajo (Tabla 2), indican la acción biocida, toxicidad y metabolismo, que depende de la estructura química de los compuestos (Figura 3).

Para la identificación del origen de la fuente de los plaguicidas, se realizaron charlas informales con los campesinos del sector con el fin de determinar cuáles son los insumos químicos que utilizan con mayor frecuencia, lo que podría explicar el origen de los contaminantes encontrados. Se tomaron muestras de control en un bosque con condiciones similares en otra área del departamento de Córdoba.

Tabla 2. Características principales de los compuestos objeto de estudio

Ingrediente activo	Nombre común	Formula	Acción biocida	Toxicidad	Metabolismo
Aldrín	(ISO-I): aldrín	$C_{12}H_8Cl_6$	insecticida	Neurotóxico	Hepático
Dieldrín	(ISO-I): dieldrín	$C_{12}H_8Cl_6O$	Insecticida	Neurotóxico	Hepático
Endrin	(ISO-I): endrin	$C_{12}H_8Cl_6O$	insecticida	Neurotóxico	Hepático
Heptacloro	(ISO-I): heptachlor	$C_{10}H_5Cl_7$	insecticida	Neurotóxico, teratogenidad, disrupción endocrina	Hepático

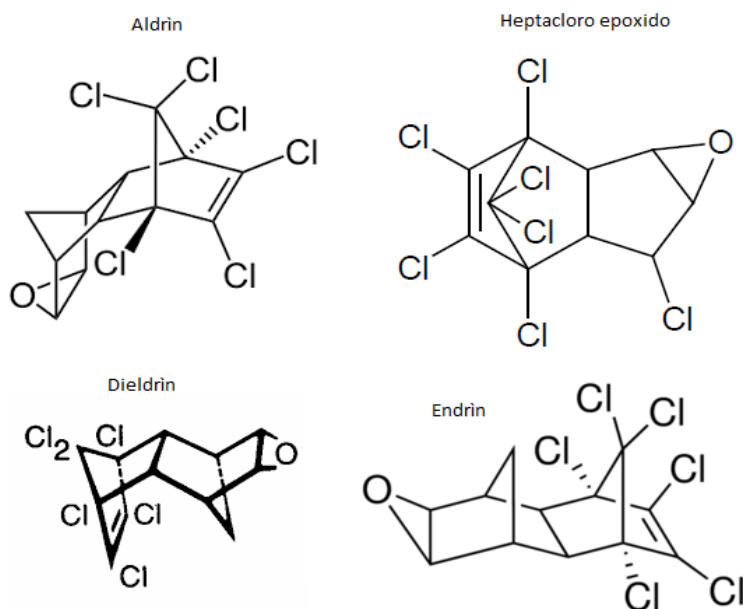


Figura 3. Estructuras de los diferentes compuestos organoclorados analizados

4.4 Control de Calidad del Método

4.4.1. Método para metales pesados

El control de calidad analítica del método fue realizado con material de referencia certificado MRC - IAEA 407; Cd: $0.189 \pm 0.4 \mu\text{g/g}$, Pb: $0.120 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$, Hg: $0.222 \pm 0.6 \mu\text{g/g}$, Zn: $67.1 \pm 0.8 \mu\text{g/g}$. El porcentaje de recuperación osciló entre 91% y

98%. El límite de detección para los diferentes metales fue 0.010 µg/g para Cd, 0.011 µg/g para Pb, 0.014 µg/g para Hg, 0.014 µg/g para Zn, 0.04 µg/g y 0.05 µg/g para Cu, calculado como la media más tres veces la desviación estándar (SD) de análisis de siete (7) blancos (Buccolieri et al. 2006).

4.4.2. Método para plaguicidas organoclorados (POC's)

Para asegurar el control y calidad del método utilizado, fueron analizados blancos de procedimiento analíticos y matrices adicionadas con soluciones patrones. Ninguno de los compuestos de interés fue detectado en los blancos de procedimiento analítico. Todos los solventes usados fueron destilados en vidrio (Grado PR) y fueron evaluados para interferencias o contaminación antes de ser usados, siguiendo los parámetros de aseguramiento de control y calidad para el análisis de plaguicidas organoclorados (Tabla 3). Los POC's fueron cuantificados por comparación de área de picos de las soluciones experimentales y soluciones estándar externas. Los coeficientes de correlación (r) para las curvas de calibración fueron > 0.995. El límite de detección del método fue calculado como el promedio más tres desviaciones estándar de diez soluciones blanco (MDL). El porcentaje de recuperación osciló entre 79.3 – 92.9%, desviación estándar relativa (RSD) osciló 0.7-4.9% (Tabla 3). Estos parámetros confirmaron la aplicabilidad del protocolo de análisis para la determinación de POC's en tejidos. El equipo empleado para la determinación de plaguicidas fue Cromatógrafo de Gases, Thermo Scientific, modelo Trace 1310; y se empleó el detector de microcaptura de electrones de ⁶³Ni (GC-ECD).

Tabla 3. Límite de detección y recuperación del método

Pesticidas organoclorados	LDM (µg/kg ⁻¹ d.w)	Recuperación (%)	RSD (%)
Aldrín	0.39	79.8	1.4
Epóxido de heptacloro	0.09	89.8	2.6
α –BCH	0.16	94.3	0.9
β –BCH	0.05	92.8	2.1
γ–BCH	0.03	88.9	5.4
Lindano	0.01	86.5	3.4
Endrín	0.03	83.1	0.7

Pesticidas organoclorados	LDM ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}\text{d.w}$)	Recuperación (%)	RSD (%)
Heptacloro	0.03	87.7	0.7
4,4'-DDD	0.02	86.1	2.1
4,4'-DDT	0.08	91.2	0.3
α Clordano	0.01	83.8	0.6
γ Clordano	0.03	92.3	2.7
α Endosulfan	0.01	86.9	3.0
β Endosulfan	0.01	88.4	4.2
Endrín Aldehído	0.04	87.4	2.1

4.5 Análisis de la información

El resultado del análisis de cada muestra se presenta como el promedio ($\pm$ DE) de las determinaciones realizadas por triplicado. Se utilizó la prueba t-test (t de Student) para evaluar hubo diferencias significativas entre las concentraciones medias de tejidos entre especies, empleando criterio de significancia de $p < 0,05$. El análisis de datos se realizó utilizando Statgraphics Centurion XV.II.

5. RESULTADOS

5.1 Caracterización del ensamble de murciélagos

Se capturaron 150 murciélagos, distribuidos en cuatro familias y 18 especies (Tabla 4). El esfuerzo del muestreo fue de 120 horas/red, con un éxito de captura del 83%. Las especies capturadas representaron el 34% de las especies de murciélagos reportadas para el departamento de Córdoba (Anexo 1). La composición por gremios tróficos del ensamble de murciélagos de la zona muestreada en el área protegida, indica que los frugívoros con el 87% de las capturas fueron los más abundantes (Figura 4).

Se determinó la concentración de los diferentes contaminantes en 13 de las especies encontradas, de las cuales, once especies corresponden a murciélagos de la familia Phyllostomidae (*Artibeus*, *Carollia*, *Dermanura*, *Sturnira*, *Trachops*, *Platyrrhinus*, *Micronycteris*, *Phylloderma*, *Phyllostomus*), uno pertenece a la familia Mormoopidae (*Pteronotus*) y uno a la familia Vespertilionidae (*Eptesicus*). Las especies más abundantes en la caracterización del ensamble fueron *Carollia*

castanea (31%), seguida de *Sturnira parvidens* (26%), *Carollia perspicillata* (14%) y *Artibeus planirostris* (7%).

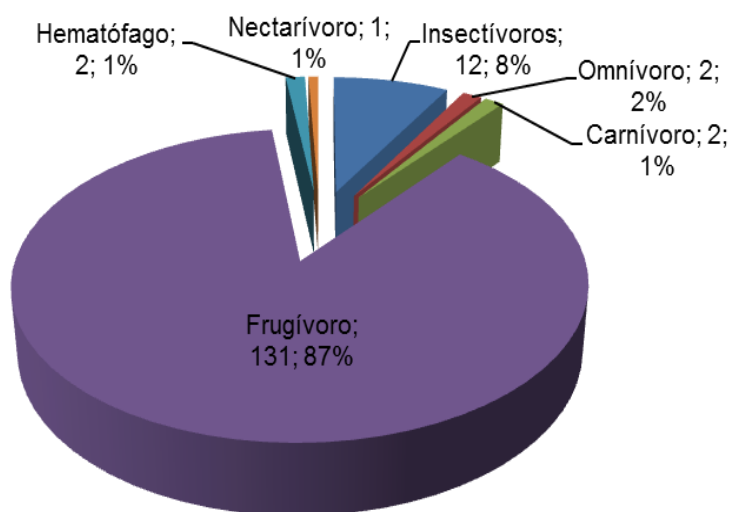


Figura 4. Composición (%) por gremios del ensamblaje de murciélagos registrados para el sector Manso-Tigre del Parque Nacional Natural Paramillo.

Tabla 4. Especies de murciélagos registrados para el sector Manso-Tigre del Parque Nacional Natural Paramillo durante el estudio.

Familia	Especie	# Indiv	Gremio	Grupo Funcional
Emballonuridae	<i>Centronycterys sp</i>	2	Insectívoro	Controlador de plagas
Mormoopidae	<i>Pteronotus parnellii</i>	3	Insectívoro	Controlador de plagas
Phyllostomidae	<i>Phyllostomus hastatus</i>	1	Omnívoro	Depredador
Phyllostomidae	<i>Phylloderma stenops</i>	1	Omnívoro	Depredador
Phyllostomidae	<i>Trachops cirrhosus</i>	2	Carnívoro	Depredador
Phyllostomidae	<i>Micronycteris microtis</i>	1	Insectívoro	Controlador de plagas
Phyllostomidae	<i>Carollia castanea</i>	46	Frugívoro	Dispersor de semillas
Phyllostomidae	<i>Carollia perspicillata</i>	22	Frugívoro	Dispersor de semillas
Phyllostomidae	<i>Lonchophylla sp</i>	1	Nectarívoro	Polinizador
Phyllostomidae	<i>Artibeus lituratus</i>	2	Frugívoro	Dispersor de semillas
Phyllostomidae	<i>Artibeus planirostris</i>	11	Frugívoro	Dispersor de semillas
Phyllostomidae	<i>Dermanura sp</i>	7	Frugívoro	Dispersor de semillas
Phyllostomidae	<i>Uroderma convexum</i>	2	Frugívoro	Dispersor de semillas
Phyllostomidae	<i>Platyrrhinus helleri</i>	2	Frugívoro	Dispersor de semillas
Phyllostomidae	<i>Sturnira parvidens</i>	39	Frugívoro	Dispersor de semillas
Phyllostomidae	<i>Desmodus rotundus</i>	2	Hematófago	
Vespertilionidae	<i>Myotis nigricans</i>	5	Insectívoro	Controlador de plagas

Familia	Especie	# Indiv	Gremio	Grupo Funcional
Vespertilionidae	<i>Eptesicus chiriquinus</i>	1	Insectívoro	Controlador de plagas

5.2 Concentración de metales pesados en especies de murciélagos

El contenido de metales pesados en tejidos de murciélagos fue mayor en hígado en la mayoría de los casos, sin presentar diferencias estadísticas significativas en tejido muscular ($p>0.05$). En todas las especies evaluadas, la concentración de Zn en hígado y músculo fue mayor que las concentraciones de Cu, Pb, Cd y Hg (Tabla 5); y la acumulación de metales pesados en hígado y músculo siguió el orden $Zn>Cu>Pb>Cd>Hg$ para la mayoría de las especies (Anexo 2).

La comparación general por especie (Tabla 5) indica que la concentración de metales en músculo fue superior en *Carollia perspicillata* (Zn, Cu), *Micronycteris microtis* (Pb), *Trachops cirrhosus* (Cd), *Pteronotus parnellii* (Hg); mientras que en tejido hepático se presentó en *Pteronotus parnellii* (Zn), *Desmodus rotundus* (Cu), *Dermanura sp* (Cd), *Carollia castanea* (Pb), *Trachops cirrhosus* (Hg).

Tabla 5. Concentraciones ($\mu\text{g/g}$) de metales pesados en hígado y músculo. Gremio: F= frugívoro, H=hematófago, I=insectívoro, C=carnívoro, O=omnívoro.

Órgano	Pb	Zn	Cd	Cu	Hg
Phyllostomidae - <i>Artibeus jamaicensis</i> (F)					
Músculo	0.073 ± 0.019	13.7 ± 0.56	0.014 ± 0.002	6.6 ± 0.14	0.050 ± 0.018
Hígado	0.07 ± 0.013	32.2 ± 2.53	0.076 ± 0.007	8.8 ± 1.98	0.11 ± 0.09
Phyllostomidae - <i>Carollia perspicillata</i> (F)					
Músculo	0.05 ± 0.017	34.1 ± 13.2	0.025 ± 0.008	14.6 ± 1.2	0.040 ± 0.024
Hígado	0.11 ± 0.07	29.2 ± 2.67	0.032 ± 0.013	33.2 ± 5.87	0.09 ± 0.008
Phyllostomidae - <i>Carollia castanea</i> (F)					
Músculo	0.05 ± 0.014	10.7 ± 1.43	0.006 ± 0.002	11.5 ± 2.53	0.05 ± 0.029
Hígado	0.06 ± 0.018	36.7 ± 3.54	0.013 ± 0.006	18.3 ± 3.75	0.11 ± 0.092
Phyllostomidae - <i>Dermanura sp</i> (F)					
Músculo	0.03 ± 0.016	0.4 ± 0.13	0.01 ± 0.002	7.8 ± 0.23	0.070 ± 0.031
Hígado	0.08 ± 0.032	16.9 ± 6.32	0.10 ± 0.031	11.7 ± 1.42	0.13 ± 0.098
Phyllostomidae - <i>Sturnira parvidens</i> (F)					
Músculo	0.10 ± 0.045	6.5 ± 1.05	0.015 ± 0.003	14.1 ± 3.2	0.03 ± 0.008
Hígado	0.07 ± 0.02	24.4 ± 1.32	0.018 ± 0.006	22.5 ± 6.47	0.08 ± 0.009

Órgano	Pb	Zn	Cd	Cu	Hg
Phyllostomidae - <i>Desmodus rotundus</i> (H)					
Músculo	0.07 ± 0.01	6.2 ± 1.37	0.015 ± 0.009	21.7 ± 0.63	0.10 ± 0.021
Hígado	0.05 ± 0.008	27.4 ± 3.64	0.031 ± 0.012	38.0 ± 7.81	0.15 ± 0.087
Mormoopidae - <i>Pteronotus parnellii</i> (I)					
Músculo	0.05 ± 0.03	9.0 ± 2.61	0.012 ± 0.003	16.9 ± 4.26	0.08 ± 0.033
Hígado	0.07 ± 0.006	33.8 ± 2.78	0.025 ± 0.012	24.6 ± 2.19	0.20 ± 0.121
Phyllostomidae - <i>Trachops cirrhosus</i> (C)					
Músculo	0.06 ± 0.012	5.3 ± 1.52	0.02 ± 0.009	15.3 ± 5.62	0.13 ± 0.087
Hígado	0.08 ± 0.032	27.1 ± 2.83	0.01 ± 0.003	26.9 ± 8.23	0.21 ± 0.098
Phyllostomidae - <i>Platyrrhinus helleri</i> (F)					
Músculo	0.06 ± 0.03	13.0 ± 3.68	0.012 ± 0.008	18.3 ± 2.93	0.07 ± 0.03
Hígado	0.07 ± 0.017	24.2 ± 4.75	0.015 ± 0.009	29.7 ± 5.69	0.12 ± 0.087
Phyllostomidae - <i>Micronycteris microtis</i> (I)					
Músculo	0.13 ± 0.08	0.56 ± 0.21	0.010 ± 0.005	21.1 ± 7.41	0.10 ± 0.062
Hígado	0.07 ± 0.032	24.3 ± 3.28	0.012 ± 0.007	27.2 ± 10.8	0.10 ± 0.031
Vespertilionidae - <i>Eptesicus chiriquinus</i> (I)					
Músculo	0.09 ± 0.042	0.47 ± 0.16	< LD	6.2 ± 1.11	0.10 ± 0.064
Hígado	0.06 ± 0.021	18.6 ± 2.19	0.05 ± 0.014	11.0 ± 2.55	0.06 ± 0.007
Phyllostomidae - <i>Phylloderma stenops</i> (F)					
Músculo	0.10 ± 0.034	0.30 ± 0.12	< LD	17.3 ± 2.84	0.07 ± 0.031
Hígado	0.08 ± 0.007	27.3 ± 3.98	0.06 ± 0.002	26.9 ± 4.17	0.09 ± 0.048
Phyllostomidae - <i>Phyllostomus hastatus</i> (O)					
Músculo	0.13 ± 0.065	0.51 ± 0.22	< LD	23.4 ± 4.76	0.10 ± 0.062
Hígado	0.07 ± 0.008	25.9 ± 4.71	0.04 ± 0.012	35.2 ± 11.32	0.08 ± 0.018

5.3 Concentración de plaguicidas organoclorados en murciélagos

El contenido de POC's encontrado en hígado y músculo (Tabla 6) presentó diferencias estadísticas significativas entre especies ($p < 0.05$). En músculo, el metabolito predominante fue pp-DDE con niveles de concentración entre <LD a 85.18 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Tabla 6), seguido de pp-DDT (<LD – 56.7 $\mu\text{g kg}^{-1}$), α -BCH (1.18 – 33.42 $\mu\text{g kg}^{-1}$), Endrín (<LD – 5.76 $\mu\text{g kg}^{-1}$), β -BCH (<LD – 2.34 $\mu\text{g kg}^{-1}$), Aldrín (<LD – 1.62 $\mu\text{g kg}^{-1}$), γ -BCH (<LD – 1.34 $\mu\text{g kg}^{-1}$), Heptacloro (<LD – 1.21 $\mu\text{g kg}^{-1}$); a diferencia del tejido hepático donde la concentración de pp-DDT fue de <LD – 35.1 $\mu\text{g kg}^{-1}$, seguido de pp-DDE (<LD – 23.50 $\mu\text{g kg}^{-1}$), α -BCH (0.38 – 33.42 $\mu\text{g kg}^{-1}$), Endrín (<LD – 4.02 $\mu\text{g kg}^{-1}$), γ -BCH (<LD – 0.89 $\mu\text{g kg}^{-1}$), Aldrín (<LD – 0.64 $\mu\text{g kg}^{-1}$), β -BCH (<LD – 0.51 $\mu\text{g kg}^{-1}$) y Heptacloro (<LD – 0.51 $\mu\text{g kg}^{-1}$).

Las especies que presentaron mayor concentración de POC's en hígado (Tabla 6) fueron *Trachops cirrhosus* (α -BCH, γ -BCH, Endrin, pp-DDE), *Desmodus rotundus* (β -BCH), *Micronycteris microtis* (Aldrin), *Platyrrhinus helleri* (Heptacloro), *Phyllostomus hastatus* (pp-DDT); mientras que, la mayor concentración de POC's en músculo se presentó en *Trachops cirrhosus* (α -BCH, γ -BCH, Endrin, pp-DDE), *Artibeus planirostris* (β -BCH), *Micronycteris microtis* (Aldrin, Heptacloro) y *Phyllostomus hastatus* (pp-DDT).

5.3.1 Plaguicidas utilizados por la comunidad al interior del área protegida

A través de las entrevistas y charlas informales con los pobladores en las comunidades del sector Manso y Tigre, se pudo constatar que, en las actividades agropecuarias están utilizando cinco agroquímicos o plaguicidas: **Paraquat®**: El ingrediente activo Paraquat Dicloruro y es un herbicida químico que se utiliza para el control de una muy amplia variedad de malas hierbas (plantas no deseadas). **Gramafin®**: ingrediente activo Paraquat, herbicida no selectivo que actúa por contacto sobre las partes verdes de las plantas. No daña la corteza madura, no impide el retoño de malezas perennes, y se inactiva inmediatamente cuando entra en contacto con el suelo. **Cerillo®**: ingrediente activo Paraquat, herbicida post-emergente de contacto que elimina rápidamente la mayoría de malezas de hoja ancha y angosta. La eliminación de las malezas suele quedar completa en tres o cuatro días. **Gramoxone®**: ingrediente activo Dicloruro de Paraquat, herbicida de rápido control de la maleza, sin efecto residual en el suelo. Generalmente, el producto controla totalmente a la maleza en cuatro o cinco días sin afectar a los posteriores cultivos por residuos en el suelo. **Panzer®**: Su principio activo glifosato en forma de sal isopropilamina, un herbicida post-emergente no selectivo y sistémico para el control de malezas de hoja ancha, gramíneas y ciperáceas.

Estos agroquímicos son empleados por los campesinos para fumigar potreros, en cultivos de pancoger y cultivos ilícitos de coca (*Erythroxylum coca*). Es importante mencionar que no existe un manejo adecuado en la disposición final de los

envases, que generalmente terminan en los cuerpos de aguas como quebradas y ríos.

Tabla 6. Concentraciones de plaguicidas organoclorados en hígado y músculo en murciélagos del sector Manso-Tigre del PNN Paramillo. Valores expresados en Microgramos por kilogramos (µg/kg). Gr: Gremio. F= frugívoro, H=hematófago, I=insectívoro, C=carnívoro, O=omnívoro.

	Familia	Especie	Gr	IDF	α BCH	β BCH	γ BCH	Aldrin	Endrin	Heptacloro	pp- DDT	pp- DDE
Músculo	Phyllostomidae	<i>Artibeus planirostris</i>	F	Promedio	2.13±1.12	2.34±1.18	< LDM	0.47±0.31	1.17±0.48	< LDM	< LDM	33.2±8.65
		<i>Carollia perspicillata</i>	F		25.4±9.48	0.85±0.23	1.1±0.51	1.2±0.67	4.4	0.9	24.5	64.7
		<i>Carollia castanea</i>	F		1.18±0.99	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	24.4±13.62
		<i>Dermanura sp</i>	F		8.75±4.78	0.41±0.31	< LDM	1.09±0.93	2.15±1.14	0.64±0.41	< LDM	18.2±5.76
		<i>Sturnira parvidens</i>	F		8.715±4.27	< LDM	0.37±0.23	0.49±0.12	1.78±1.41	0.41±0.38	23.81±12.09	32.61±9.85
		<i>Desmodus rotundus</i>	H		8.75±2.69	0.68±0.14	< LDM	0.87±0.24	2.21±1.13	< LDM	< LDM	33.1±21.65
		<i>Trachops cirrhosus</i>	C		33.42±2.65	1.11±0.78	1.34±1.21	1.52±0.63	5.76±1.43	1.17±1.13	32.2±0.89	85.18±54.07
		<i>Platyrrhinus helleri</i>	F		12.8±8.32	0.61±1.19	< LDM	1.12±0.54	< LDM	1.04±0.65	26.3±1.53	52.5±12.71
		<i>Micronycteris microtis</i>	I		7.9±1.15	0.52±0.21	< LDM	1.65±0.28	< LDM	1.21±0.14	16.8±3.79	22.9±1.75
		<i>Phylloderma stenops</i>	O		11.42±3.42	< LDM	0.45±0.23	< LDM	1.12±0.76	< LDM	< LDM	< LDM
		<i>Phyllostomus hastatus</i>	O		20.75±2.56	< LDM	0.87±0.69	1.17±0.12	4.23±1.03	0.95±0.86	56.7±1.65	77.6±14.93
	Mormoopidae	<i>Pteronotus parnellii</i>	I		5.53±1.11	< LDM	0.66±0.18	0.55±0.15	< LDM	< LDM	12.2±1.82	38.7±4.65
Hígado	Vespertilionidae	<i>Eptesicus chiriquinus</i>	I		2.41±5.78	1.11±0.14	< LDM	1.32±0.92	< LDM	< LDM	< LDM	18.1±2.63
	Phyllostomidae	<i>Artibeus planirostris</i>	F	Promedio	0.62±0.43	0.76±1.12	< LDM	< LDM	0.76±0.64	< LDM	< LDM	6.3±1.74
		<i>Carollia perspicillata</i>	F		7.32±1.16	0.32±0.22	0.78±1.11	0.49±0.21	3.08±1.67	0.26±0.16	15.15±0.65	15.12±7.93
		<i>Carollia castanea</i>	F		0.38±1.17	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	6.2±4.08
		<i>Dermanura sp</i>	F		2.04±1.14	0.17±0.11	< LDM	0.42±0.15	1.73±1.17	0.30±0.12	< LDM	4.1±1.19
		<i>Sturnira parvidens</i>	F		3.52±1.48	< LDM	0.19±0.13	< LDM	1.45±1.11	0.19±0.08	14.76±9.34	9.12±6.18
		<i>Desmodus rotundus</i>	H		2.94±1.14	0.51±0.11	< LDM	< LDM	1.81±1.17	< LDM	< LDM	9.3±1.98
		<i>Trachops cirrhosus</i>	C		8.05±3.18	0.34±0.16	0.89±0.24	0.59±0.19	4.02±3.16	0.26±0.14	19.96±7.18	23.50±18.56
		<i>Platyrrhinus helleri</i>	F		3.12±1.07	0.19±0.065	< LDM	0.46±0.32	< LDM	0.51±0.41	16.30±3.62	14.3±1.45
		<i>Micronycteris microtis</i>	I		3.29±1.12	0.26±0.21	< LDM	0.64±1.78	< LDM	0.38±0.10	10.41±1.14	6.4±4.34
		<i>Phylloderma stenops</i>	O		5.12±2.53	< LDM	0.32±0.11	< LDM	0.91±0.31	< LDM	< LDM	< LDM
		<i>Phyllostomus hastatus</i>	O		5.07±1.18	< LDM	0.48±0.38	0.45±0.27	3.47±1.62	0.156±0.12	35.15±23.09	21.72±16.71
	Mormoopidae	<i>Pteronotus parnellii</i>	I		1.60±1.01	< LDM	0.41±0.14	< LDM	< LDM	< LDM	7.56±3.06	10.83±1.89
Hígado	Vespertilionidae	<i>Eptesicus chiriquinus</i>	I		0.9±0.54	0.25±0.14	< LDM	0.51±0.15	< LDM	< LDM	< LDM	4.1±1.71

6. DISCUSION

6.1 Metales pesados

La baja concentración de metales pesados en los murciélagos de la zona evaluada, no significa que no hay riesgo para estos mamíferos, ya que en la literatura se reporta que los metales pesados son precursores de efectos tóxicos de gran impacto a través del tiempo (Pérez et al. 2005). Los niveles de metales encontrados en hígado tienen su máximo interés a la hora de considerar una especie bioindicadora. Para este trabajo, el tejido hepático acumuló básicamente Zn y Cu, acumulación habitualmente encontrada por numerosos investigadores en mamíferos. En cuanto al mercurio, los murciélagos acumulan la mayor del contaminante a través de su dieta, por lo que la concentración varía entre gremios tróficos como insectívoros, nectarívoros, frugívoros, carnívoros, hematófagos y omnívoros (Baron et al. 1999; Walker et al. 2007).

Debido a que los metales pesados como el Pb, Cd y Hg no se les ha encontrado alguna función fisiológica, son considerados como contribuyentes a la toxicidad cuando se eleva su ingesta (Horvat 2002, Pérez et al. 2010). Por ello, si bien estos elementos están presentes en la naturaleza y son parte de la historia natural de los ecosistemas, actúan como contaminantes al liberarse a la atmósfera a través de diferentes fuentes antropogénicas, elementos tóxicos que pueden ser asimilados por vía respiratoria hasta alcanzar concentración tóxica o proceso de biomagnificación (Capó 2002). Como consecuencia, la concentración de Pb, Cd y Hg encontrada en los murciélagos, dependerá además de la dieta, del grado de exposición al contaminante por parte de las plantas y organismos utilizados en su dieta. A diferencia de estos, el Cu y Zn cumplen determinadas funciones fisiológicas (Eckert y Randall 1990, Jacinto y Aguilar 2007) en los seres vivos, los cuales deben ser absorbidos y eliminados constantemente; sin embargo, en exceso pueden ser tóxicos, y al presentarse escasez se pueden presentar deficiencias fisiológicas (Prohaska y Gybina 2004). Su absorción se da principalmente por vía digestiva, y su presencia puede estar relacionada directamente con el tipo de dieta de las especies.

Para este estudio se plantea que probablemente la principal fuente de metales pesados (Cd, Pb, Zn) sea la actividad agrícola, a través de la aplicación de

fertilizantes (fosfatos) y plaguicidas con trazas de metales pesados pueden entrar en la biota y bioacumularse a través de la cadena trófica, llegando a estas especies por diferentes rutas de exposición. Se destaca el uso frecuente de superfosfatos y otros fertilizantes fosforados con altas concentraciones de Cr, Cu, Ni, Pb, Cd y Zn. También plaguicidas que contienen Cu y Zn, así como de herbicidas y fungicidas que contienen Hg. Se presume que estos elementos tóxicos pueden entrar a los ecosistemas a través de la precipitación húmeda o seca del Hg atmosférico, debido a fuentes específicas (Alloway 2013), tales como la minería de oro en la cuenca del río San Jorge (Ingeominas 2002, Marrugo-Negrete et al. 2014). En el proceso de extracción del oro (amalgamación), se desprende mercurio elemental (Hg) a la atmósfera que puede viajar kilómetros antes de ser depositado en algún ecosistema y causar contaminación (Maurice et al. 2000, Marrugo-Negrete et al. 2008).

Al comparar los resultados obtenidos con otros estudios, se observó que el promedio del contenido de metales registrados en este trabajo, es inferior a los valores encontrados por Walker et al. (2007) en tejido renal para especies colectadas en Gran Bretaña (Hg: 0.93-3.0; Pb: 1.16-4.05; Cd: 0.83-6.27 $\mu\text{g g}^{-1}$); a lo reportado Williams et al. (2010) en hígado y páncreas de especies de la zona Kosñipata en Cuzco, Perú (Pb: Nd-15.15; Cd: Nd-19.05; Cu: 4.38-81.32; Zn: 9.49 – 284 $\mu\text{g g}^{-1}$); a los resultados del trabajo de O'Shea et al. (2001), Wada et al. (2010) y Yates et al. (2014) en tejido de especies para evaluación de Hg en la región nordeste de Estados Unidos (Hg: 0.02-0.74 $\mu\text{g g}^{-1}$), y nordeste de Denver, Colorado (Hg: 0.03-0.43 $\mu\text{g g}^{-1}$) y South River, Virginia, USA (Hg: $28.08 \pm 4.06 \mu\text{g g}^{-1}$); y a lo expuesto por Hickey et al. (2001) en tejidos de la especies en la zona Ontario y Quebec, Canadá (Hg: 1.3-2.5; Pb: Nd-6.1; Zn: 0.5-110.1 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Cabe resaltar que los contaminantes reportados en los trabajos citados provienen de zonas con impacto directo o áreas aledañas a fuentes antropogénicas; mientras que, los animales evaluados en este trabajo provienen de un sector al interior de la selva húmeda tropical del PNN-Paramillo. Sin embargo, considerando que los murciélagos tienen una gran movilidad para explorar y forrajear en diferentes estratos del bosque y lugares de la matriz del paisaje, sin lugar a dudas, los hace sensibles a una amplia

gama de estresores ambientales y responden a ellos de manera predecible (Medellín y Viquez-R 2014).

La presencia de metales pesados como el Hg en tejido muscular generalmente son mucho más bajas que las presentadas en órganos como riñón e hígado (Hermoso et al. 2011), teniendo en cuenta que el músculo podría ser un órgano transitorio del contaminante hacia la eliminación por cabello (Mierle et al. 2000; Evers y Clair 2005; Yates et al. 2005) y la presencia de Hg en la piel puede ser una expresión de exposición crónica (Mierle et al. 2000). Las diferencias en las concentraciones de los metales pesados entre los géneros de murciélagos analizados estarían asociadas al tipo de dieta; y entre las especies la absorción o excreción de estos metales serían afectadas tanto por el grado de exposición, como por las características individuales de los animales.

Dentro de las características de los murciélagos que los hacen buenos bioindicadores, como la gran diversidad de nichos ecológicos que explotan, los tipos de refugios, la amplia variedad de gremios tróficos y el complejo ensamble de comunidades, son sólo tres de los aspectos ecológicos que convierten a los murciélagos en un buen grupo para estudiar los efectos de la perturbación ambiental sobre los ecosistemas, evaluar la degradación ambiental y el impacto antropogénico. Además de la alta diversidad taxonómica y funcional de los murciélagos (Simmons 2005; McCracken et al. 2006), poseen otras características que los hacen buenos bioindicadores ambientales como: amplia distribución geográfica, fácil muestreo, alta abundancia relativa, fácil identificación y presentar respuestas diferenciales a cambios ambientales. Debido a la baja tasa reproductiva, muchas especies responden de manera bastante rápida a los cambios ambientales, ya que las poblaciones pueden declinar de manera rápida, lo cual permite detectar cambios a corto plazo (Jones et al. 2009).

Todos estos aspectos sustentan su alta importancia funcional de los murciélagos en el ecosistema y la necesidad del conocimiento ecológico (Stork y Sherman 1995; Moreno et al. 2007; Jones et al. 2009). De manera similar, la amplia capacidad de dispersión de estos mamíferos voladores, presenta ventajas comparativas con otros grupos taxonómicos para el estudio de los

impactos de la perturbación ambiental, al permitir vislumbrar cambios a gran escala, con la particularidad que los métodos que se utilizan para su estudio son relativamente económicos. Muestreos periódicos utilizando las distintas técnicas, se puede generar una base de datos que permita separar los efectos de las diferentes fuentes de disturbios. Por ejemplo, análisis de presencia y abundancia relativa de las especies de murciélagos en sitios con distintos grados de perturbación ambiental, pudiéndose determinar los efectos de las distintas fuentes de perturbación como ganadería, monocultivos, aplicación de agroquímicos y pérdida de conectividad entre fragmentos de bosque verdes aislados en una matriz de perturbación (Medellín y Viquez-R 2014).

Este trabajo corresponde al primer reporte de metales pesados en murciélagos de bosque húmedo tropical en el departamento de Córdoba, y quizás para Colombia. Por tanto, debería considerarse en futuras evaluaciones de contaminantes ambientales en fauna silvestre. Sería importante nuevos estudios en murciélagos carnívoros y piscívoros, que, al alimentarse de pequeños vertebrados con un mayor potencial de bioacumulación de residuos en función del tiempo, se espera que los metales pesados se bioacumulen con mayor rapidez a través de la cadena trófica (Wright y Welbourn 2002, Lajmanovich et al. 2005).

6.2 Plaguicidas POC's

Los murciélagos tienen ciertas particularidades que les hacen potencialmente sensibles a la contaminación por plaguicidas. Al ser organismos de pequeño tamaño, metabolismo acelerado, vida larga y estar en posiciones elevadas en la pirámide trófica de las comunidades ecológicas, facilita la bioacumulación elevada de tóxicos. Desde la década de los años 60's se tienen reportes de los efectos nocivos de los plaguicidas organoclorados como el DDT en murciélagos. Luckens y Davis (1964) reportan que la dosis letal (LD_{50}) para murciélagos insectívoros del género *Eptesicus* es menos a 40 mg/Kg o ppm. Estos resultados eran alarmantes e implicaban una sensibilidad menor a la que presentaban otros mamíferos, como pequeños roedores de los géneros *Ratus*, *Mus* y *Oryctolagus*, que presentaban LD_{50} de 150, 400 y 300 mg/Kg, respectivamente. Para este trabajo, las concentraciones de POC's encontradas en murciélagos fueron muy bajas, sin embargo, es importante aclarar que las

concentraciones de plaguicidas pueden variar, dependiendo de la época climática del año, y que se relaciona con la cantidad de reservas acumuladas en forma de grasa, el reservorio natural de los organoclorados (Cobos et al. 2006). Por esta razón, los murciélagos son capaces de resistir intoxicaciones relativamente severas en las épocas del año en que están más cargados de grasa (Hill y Smith 1988).

Por los procesos de intervención antrópica en el PNN-Paramillo desde el siglo pasado, se esperaría que esto fuera el origen de la presencia de metales pesados y plaguicidas organoclorados; aunque metales pesados como Mn, Fe, Zn o Cu, son esenciales para el desarrollo normal de las plantas, siendo componentes estructurales de proteínas y enzimas (Mahler 2003). Con una matriz dominante de bosque húmedo tropical, se esperaría contenga moderados niveles de contaminantes peligrosos en el suelo (Morón Monge 2013). Precizando que el punto crítico no es la toxicidad de los metales sino la capacidad de acumulación y su posible transmisión en la cadena trófica, se podría decir que los pesticidas generan un impacto específico que puede ser negativo, neutral o positivo para una especie, dado que los residuos químicos se mueven a través del suelo, agua, alimento o aire (Badii et al. 2006).

Aunque no se tiene claro el origen de las fuentes de emisión de contaminantes para el área de estudio en el PNN-Paramillo, la industrialización y uso de agroquímicos en los sistemas agropecuarios y cultivos ilícitos, actividad minera en la cuenca del río San Jorge y uso de combustibles fósiles que libera a la atmósfera y suelo agentes contaminantes como metales pesados (Marrugo-Negrete et al. 2008), además de las fuentes naturales (galena y cinabrio), los contaminantes pueden dispersarse por las corrientes atmosféricas, corrientes de agua y estar presente en los suelos, siendo la causa principal de la transferencia hacia los ecosistemas y la biota (Primack 2002).

Aunque en este trabajo no se analizó la presencia de Paraquat, es uno de los agroquímicos más empleados por las comunidades campesinas. Los POC's encontrados en los murciélagos al interior del área protegida, entre ellos el DDT, actualmente con prohibición y restricciones en su utilización (Devine y Furlong 2007), considerados altamente persistentes, bioacumulables y que

pueden afectar poblaciones completas de animales silvestres; de forma similar, productos como el Dieldrín y Endrín persisten por años en suelos y son considerados un peligro potencial en los ecosistemas (Sánchez-Palencia et al. 2015).

La concentración de estos elementos contaminantes puede variar según el grado de exposición y características individuales de las especies. La presencia de POC's sugiere que los murciélagos presentan exposición a estos compuestos tóxicos, y la ruta de entrada estaría asociada a la ingesta de frutos e insectos contaminados.

6.4 Los Murciélagos como bioindicadores de contaminantes

Aunque la concentración de metales pesados y plaguicidas reportados en este trabajo se consideran bajas en comparación con reportes a nivel mundial, la sola presencia de estos xenobióticos, es un llamado de alerta, puesto que los murciélagos están indicando la presencia de contaminantes en un ecosistema de selva húmeda tropical. Estos mamíferos voladores ocupan y exploran diferentes hábitáculos ambientales, es importante considerar que podrían estar manifestando las perturbaciones ambientales que se están dando en este sector del área protegida, pues son sensibles a una amplia gama de estresores ambientales y responden a ellos de manera predecible (Medellín y Viquez-R 2014). La utilización de los murciélagos como bioindicadores podría permitir determinar y conocer la biodisponibilidad de los contaminantes o fracción de contaminantes que llega incorporarse a un organismo.

7. CONCLUSIONES

Para el área de estudio en este trabajo, el origen de los metales pesados y POC's detectados, posiblemente es de origen antrópico, puesto que en la zona de estudio se presentan actividades agrícolas y cultivos ilícitos con aplicación frecuente de fertilizantes y plaguicidas con elementos contaminantes que al final entran a los ecosistemas y a la biota a través de la cadena trófica.

Los murciélagos están reflejando una problemática de contaminantes ambientales al interior del PNN-Paramillo, por lo que este grupo taxonómico puede ser empleado en programas de biomonitorio de contaminación por metales pesados, plaguicidas organoclorados, donde precursores químicos de combustibles fósiles, herbicidas y pesticidas que serían las posibles fuentes de la presencia de contaminantes en la biota.

Este trabajo contribuye con los primeros reportes de contaminantes ambientales (metales pesados y plaguicidas organoclorados) en murciélagos tropicales colombianos, por lo tanto, este conocimiento puede servir como línea base de referencia para posteriores investigaciones relacionadas con esta problemática.

8. RECOMENDACIONES

Para mejorar la comprensión del problema, sería interesante realizar este trabajo considerando muestreos los dos periodos climáticos (seco y lluvioso) que se presentan en la zona de estudio; y estudiar más a fondo las rutas de exposición que presentan los metales pesados en el ecosistema de bosque húmedo tropical al interior del área protegida.

El PNN-Paramillo debe hacer seguimiento o monitoreo de esta problemática ambiental en el ecosistema de selva húmeda tropical en los diferentes compartimentos del sistema, teniendo en cuenta la alta afectación y presión que presenta por diferentes actividades antrópicas. Así mismo, generar acciones tendientes a disminuir el uso de plaguicidas o pensar en trabajar con los campesinos en el uso de bioinsecticidas y establecimiento de sistemas agroecológicos.

9. BIBLIOGRAFIA

Agency For Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for lead. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta. 1993.

Alleva E, Francia N, Pandolfi M, De Marinis AM, Chiarotti F, Santucci D. Organochlorine and heavy-metal contaminants in wild mammals and birds of Urbino-Pesaro Province, Italy: an analytic overview for potential bioindicators. *Archives of Environmental Contaminant and Toxicology*. 2006; 51: 123–134.

Alloway BJ. Heavy Metals in Soils, Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability (3ra Ed.) United Kingdom. 2013. 587 pp.

Allsopp M, Erry B. COPs en América Latina. Una revisión de los niveles de los contaminantes orgánicos persistentes en América Latina. Universidad de Exeter, Exeter, Reino Unido. 2000. 73 pp.96p.

Badii M, Garza V, Landeros J. Efecto de los plaguicidas en la fauna silvestre. *Culcyt*. Mayo–Agosto: 1-23. 2006.

Badii M, Hernández S, Guerrero S. Efecto de los plaguicidas en pequeños mamíferos: Implicaciones de sustentabilidad. *Culcyt/Impacto Ambiental* Año 6, No 30. 5-15p.2009.

Badii M, Raúl GC, Victoriano GA, Jerónimo LF. Los Indicadores biológicos en la evaluación de la contaminación por agroquímicos en Ecosistemas Acuáticos y Asociados. Año 2 N° 6. 4-20.2005.

Ballester F, Sáez M, Daponte A, Ordoñez JM, Taracido M, Cambora K. Proyecto EMECAS. Protocolo del estudio multicéntrico sobre los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: El proyecto EMECAS. *Revista Española de Salud Pública* 2005; 79: 229-42.

Baron LA, Sample BE, Suter GW. Ecological risk assessment in a large river-reservoir: 5. Aerial insectivorous wildlife. *Environmental Toxicology and Chemistry* 1999; 18(4):621–627

Bennett BS, Thies ML. Organochlorine pesticide residues in guano of Brazilian freetailed bats, *Tadarida brasiliensis* Saint-Hilaire, from East Texas. *Bull Environmental Contaminant of Toxicology* 2007; 78:191–194.

Buccolieri A, Buccolieri G, Cardellicchio N, Dell'Atti A, Di Leo A, Maci A. Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, southern Italy). *Marine Chemistry*. 2006; 99: 227-235.

Cámara S, Esperón F, de la Torre A, Carballo M, Aguayo S, Muñoz MJ, Sánchez-Vizcaíno JM. Inmunotoxicidad en cetáceos. Parte I: metales pesados. *Revista Canaria de las Ciencias Veterinarias*. 2006; 3:26-40.

Cañedo V, Alfaro A, Kroschel J. Manejo integrado de plagas de insectos en hortalizas. Principios y referencias técnicas para la Sierra Central de Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú; 2011. 48p.

Capó M. Principios de ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. España: McGraw-Hill; 2002. 314 p.

Castro-Luna A, Sosa VJ, Castillo-Campo G. Quantifying phyllostomid bats at different taxonomic levels as ecological indicators in a disturbed tropical forest. *Acta Chiropterologica* 2007; 9:219–228.

Chyla MA, Trzepierezynska I, Chyla A. Animal hair as nondestructive indicator of heavy metal pollution – preliminary attempt. 5th International Symposium of Environmental Contamination. Praga (República Checa); 2000.

Clark DR Jr, Krynitsky AJ. DDT: Recent contamination in New Mexico and Arizona. *Environment* 1983; 25:27-31.

Clark DR Jr, Laval RK, Swineford DM. Dieldrin-induced mortality in an endangered species, the gray bat (*Myotis grisescens*). *Science* 1978; 199: 1357-1359.

Clark DR Jr, Shore RF. Chiroptera. In: Shore, R.F., Rattner, B.A. (Eds.), *Ecotoxicology of Wild Mammals*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester; 2001. pp. 159–214.

Clark DR Jr. DDT and the decline of free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis*) at Carlsbad Cavern, New Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 2001; 40:537-543.

Clawson RL, Clark DR Jr. Pesticide contamination of endangered gray bats and their food base in Boone County, Missouri, 1982. *Bulletin of Environmental Contaminants and Toxicology* 1989; 42:431-437.

Clawson RL. Pesticide contamination of endangered gray bats and their prey in Boone, Franklin, and Camden Counties, Missouri. *Transactions of the Missouri Academy of Science* 1991; 25:13-19.

Combariza, B.D.A. Contaminación por Metales Pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de Plomo, Mercurio y Cadmio y alteración de salud en los habitantes del municipio de Sibate (Cundinamarca) pp.1– 115. Trabajo de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. 2009.

Cobos V, Mora M, Escalona G. Inhibición de colinesterasa plasmática en el zorzal pardo (*Turdus grayi*) expuesto al diazinón en cultivos de papaya maradol en Yucatán, México. *Revista de Toxicología* 2006; 23:17-21

Cobos-Gasca VM., Barrientos-Medina R, Chi Novelo C. Los plaguicidas y su impacto sobre la fauna silvestre de la Península de Yucatán. *Biociencias* 2011; 2, 4-9.

Custer TW, Cox E, Gray B. Trace elements in moose (*Alces alces*) found dead in Northwestern Minnesota, USA. *Science of the Total Environment* 2004; 330: 81-87.

Devine GJ, Furlong MJ. Insecticide use: context and ecological consequences. *Agric Human Values*. 2007; 24(3): 281-306

Dip R, Stieger C, Deplazes P, Hegglin D, Müller U, Dafflon O, Koch H, Naegeli H. Comparison of heavy metal concentrations in tissues of red foxes from adjacent urban, suburban, and rural areas. *Archives of Environmental Contaminant and Toxicology* 2001; 40: 551–556.

Eckert R, Randall D. Fisiología animal, mecanismos y adaptaciones. Interamericana Mc Graw-Hill. Madrid. 1990.

El-Nouri A. The Effect of Lead on Lung Histology of Albino Mice *Mus musculus*. *Rafidain journal of science* 2009. Vol. 20, No.2, pp 29- 36.

Espinoza G. Tolerancia a la toxicidad de zinc, cobre y plomo en plantas silvestres asociadas a suelos contaminados por la actividad minera. Tesis para optar el grado de Biólogo. Universidad Nacional Agraria La Molina Lima, Perú. 2000.

Evans RD, Addison EM, Villeneuve JY, Macdonald KS, Joachim DG. Distribution of inorganic and methylmercury among tissues in mink (*Mustela vison*) and otter (*Lutra canadensis*). *Environment Research* 2000; 84:133–139.

Evers DC, Clair TA. Mercury in northeastern North America: a synthesis of existing databases. *Ecotoxicology* 2005; 14:7–14.

Feria J, Marrugo-Negrete JL, Gonzáles H. Heavy metals in Sinu river, department of Córdoba, Colombia, South America. *Revista facultad de ingeniería de la Universidad de Antioquia* 2010. No.55.

Fernández BR, Guerrero R, Lord R, Ochoa J, Ulloa G. Mamíferos de Venezuela. Lista y claves para su identificación. Editado por: Museo del Instituto de Zoología Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracayo 1988. pp55-87.

Fernández F, Putze MRG, Rodríguez G. Intoxicaciones por productos agrícolas: anticolinesterásicos y paraquat. *Emergencias* 2003; 9:18-22.

Gabriel MC, Williamson DG. Principal biogeochemical factors affecting the speciation and transport of mercury through the terrestrial environment. *Environmental Geochemistry and Health* 2004; 26, 421-434.

Gardner AL. (ed.). *Mammals of South America. Volumen 1. Marsupials, Xenarthrans, Shrews, and Bats*. The University of Chicago Press. Chicago y Londres. 2008 [2007].

Geluso KN, Altenbach JS, Wilson DE. Bat mortality: Pesticide poisoning and migratory stress. *Science* 1976; 194:184-186.

Gil M, Torres A, Harvey M, Esteves J. Metales pesados en organismos marinos de la zona costera de la Patagonia argentina continental. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 2006; 41(2): 167-176.

González MJ, Guillen A, Hernández L, Ibañez C, Pérez JL. Evaluación del impacto de los biocidas sobre los quirópteros. CSICICONA, Madrid-Sevilla. 1990.

Guillen A, Ibañez C, Pérez JL, Hernández LM, González MJ, Fernández MA & Fernández R. Organochlorine Residues in Spanish Common Pipistrelle Bats (*Pipistrellus pipistrellus*). *The Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 1994; 52:231-237.

Guitart R. Los residuos de metales en los alimentos. *Diario de la Seguridad alimentaria*. 2002.

Hall ER. Collecting and preparing study specimens of vertebrates. *University of Kansas Miscellaneous publication* 1996; N° 30 pp 1-46.

Hayes JP, Loeb SC. The influences of forest management on bats in North America. In: Lacki ML, Hayes JP, Kurta A. (eds) *Bats in forests: conservation and management*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD 2007. Pp 207–235.

Hermoso de Mendoza M, Hernández D, Soler F, López-Beceiro A, Fidalgo LE, Pérez-López M. Sex-and age-dependent accumulation of heavy metals (Cd, Pb y Zn) in liver, kidney and muscle of Roe deer (*Capreolus capreolus*) from NW Spain. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 2011; 46: 109-116.

Hernández LM, Ibañez C, Fernández MA, Guillen A, González MAJ, Pérez JL. Organochlorine Insecticide and PCB Residues in Two. Bat Species from Four Localities in Spain. *The Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 1993; 50:871—877.

Hernández-Camacho J, Walschburger T, Ortiz-Quijano R, Hurtado-Guerra A. Origen y distribución de la biota suramericana y colombiana. En: Halffter G.

(Ed.). La diversidad biológica de Iberoamérica. Acta Zoológica Mexicana. Volumen especial; 1992. Pp. 55-104.

Herrera J, Rodríguez S. Validación de un método de análisis para la determinación de metales pesados en partículas PM 10 colectadas en aire ambiente. Tecnología en Marcha 2010; 23, (3): 33-46.

Hickey MBC, Fenton MB, Macdonald KC, Soulliere C. Trace elements in the fur of bats (Chiroptera: Vespertilionidae) from Ontario and Quebec, Canada. The Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2001; 66: 699–706.

Hill JE, Smith SE. Bats: a community perspective. Cambridge: Cambridge University Press; 1988. 167 p

Hoenerhoff M, Williams K. Copper-associated hepatopathy in a Mexican fruit bat (*Artibeus jamaicensis*) and establishment of a reference range for hepatic copper in bats. The Journal of Veterinary Diagnostic Investigation 2004; 16: 590-593.

Hoofer SR, Solari S, Larsen P, Bradley R.D, Baker R. Phylogenetics of the fruit-eating bats (Phyllostomidae: Artibeina) inferred from mitochondrial DNA sequences. Occasional Papers Museum of Texas Tech University 2008; 277: 1-15.

Horvat M. Mercury as a global pollutant. Analytical and Bioanalytical Chemistry 2002; 374: 981-982.

Hülya KA, Erhan Ü. Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment, Fish and Some Benthic Organisms from Tigris River, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment 2007; 131:323-337.

Imperato M, Adamo P, Naimoa D, Arienzo M, Stanzione D, Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). Environmental Pollution 2003; 124, 247–256

Ingeominas. Instituto de Investigación e Información geocientífica, Minero-Ambiental. Inventario Minero Nacional, Departamento de Córdoba. Bogotá D.C.; 2002. 52p.

Jacinto M, Aguilar S. Concentraciones traza de metales en especies marinas de la bahía de Huarmey Ancash, Perú. Revista Peruana de Biología. 2007; 14(2): 307-311.

Jones G, Jacobs D, Kunz T, Willig M, Racey P. Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. Endangered Species Research 2009; 8: 93–115.

Kalcounis-Rueppell MC, Payne VH, Huff SR, Boyko AL. Effects of wastewater treatment plant effluent on bat foraging activity in an urban stream system. *Biological Conservation* 2007; 138:120–130.

Kierdorf H, Kierdorf U. Reconstruction of a decline of ambient lead levels in the Ruhr area (Germany) by studying lead concentration in antlers of roe deer (*Capreolus capreolus*). *Science of the Total Environment* 2002; 296: 153-58.

Kunz T, Thomas D, Richards G, Tidemann C, Pierson E, Racey P. Observational techniques for bats. En Wilson D, Russell F, Nichols J, Rudran R, Foster M. *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals*. Smithsonian Institution Press. Washington; 1996a. 409 pp.

Lajmanovich RC, de la Sierra P, Marino F, Peltzer P, Lenardón A, Lorenzatti E. Determinación de residuos de organoclorados en vertebrados silvestres del Litoral Fluvial de Argentina. *Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino II*, INSUGEO. Miscelánea 2005; 14:389–398

Lazarus M, Vickovic I, Sostarić B, Blanusa M. Heavy metal levels in tissues of red deer (*Cervus elaphus*) from Eastern Croatia. *Arhivza Higijenu Rada i Toksikologiju* 2005; 56: 233-240.

Linares O. Murciélagos. Mamíferos de Venezuela. Linares O. (Ed.). *Sociedad Conservacionista Audubon de Venezuela*. Venezuela 2000. pp. 349- 591.

Luckens MN, Davis WH. Bats Sensitivity to DDT. *Science* 1964; 146:448.

Mahler RL. General overview of nutrition for field and container crops. In: Riley LE, Dumroese RK, Landis TD. *Tech. Coords. National Proceeding: Forest and Conservation Nursery Associations*. June 9-12; Coeur d'Alene, ID; and 2003 July 14-17; Springfield, IL. *Proc. RMRS-P-33*. 2003.

Mancera-Rodríguez NJ, Álvarez-León R. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, Vol. 11 No. 1. 2006.

Marrugo-Negrete JL, Benítez L, Olivero J. Distribution of mercury in several environmental compartments in an aquatic ecosystem impacted by gold mining in northern Colombia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 55, 305-316.2008.

Marrugo-Negrete JL, Navarro E, Urango I. Atmospheric deposition of heavy metals in the mining area of the San Jorge river basin, Colombia. *Air Quality, Atmosphere, and Health* 2014; 7:577-588.

Marrugo-Negrete JL, Olivero J, Ceballos E, Benites L. Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia. *Environmental Geochemistry and Health*. Epub ahead of print. 2007.

Maurice-Bourgoin L, Quiroga I, Chincheros J, Courau P. Mercury distribution in waters and fishes of the Upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. *Science of the Total Environment* 2000; 260: 73-86.

McCracken GF. *Functional and Evolutionary Ecology of Bats*. Zubaid A, McCracken GF, Kunz TH (ed.) New York (2006) Oxford University Press. 2006. Available at: http://works.bepress.com/gary_mccracken/1/.

Medellín RA, Equihua M, Amin MA. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in Neotropical rainforests. *Conservation Biology* 2000; 14(6):1666–1675. Disponible en: [http:// 10.1111/j.1523-1739.2000.99068.x](http://10.1111/j.1523-1739.2000.99068.x)

Medellin RA, Viquez-R LR. Los murciélagos como bioindicadores de la perturbación ambiental. En González C, Vallarino A, Pérez JC, Low AM, editores. *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. INECC, México; 2014. pp 521-542.

Melanen M, Ekquist M, Munkherjee AB, Aunela – Tapola L, Verta M, Salmikangas T. Atmospheric emissions of heavy metal in Finland in the 1990s. *The Finnish environment* 329, Ministry of the Environment, Helsinki (Finlandia). 2000.

Méndez L, Álvarez-Castañeda ST. Comparative analysis of heavy metals in two species of Ichthyophagous bats *Myotis vivesi* and *Noctilio leporinus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2000; 65: 51–54.

Mendoza MH, Soler F, Pérez M. Los mamíferos salvajes terrestres como bioindicadores: nuevos avances en Ecotoxicología. *Observatorio Medioambiental* 2008. Vol. (11): 37-62.

Mierle G, Addison EM, MacDonald KS, Joachim DG. Mercury levels in tissues of otters from Ontario, Canada: variation with age, sex, and location. *Environmental Toxicology and Chemistry* 2000; 19:3044–3051. doi: 10.1002/etc.5620191226.

Moreno CE, Sánchez-Rojas G, Pineda E, Escobar F. Shortcuts for biodiversity evaluation: a review of terminology and recommendations for the use of target groups, bioindicators and surrogates. *International Journal Environmental Health* 2007; 1: 71–86.

Morón Monge H. Un trabajo de revisión de fisiología vegetal y botánica 1 respuestas de las plantas a los contaminantes: “la fitorremediación”. 2013. [en línea: accesado noviembre 20 de 2016] URL disponible en: https://www.researchgate.net/profile/hortensia_moronmonge/publication/266692298_un_trabajo_de_revision_respuestas_de_las_plantas_a_los_contaminantes_la_fitorremediacion/links/5437ce960cf2d5fa292b6a1d/un-trabajo-de-revision-respuestas-de-las-plantas-a-los-contaminantes-la-fitorremediacion.pdf

Navarro-Aviñó JP, Aguila I, López-Moya JR. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas* 2007; 16 (2): 10-25.

Nava-Ruíz, C, Méndez-Armenta M. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias* 2011; 16(3), pp.140–147.

O'Shea TJ, Everette AL, Ellison LE. Cyclodiene Insecticide, DDE, DDT, Arsenic, and Mercury Contamination of Big Brown Bats (*Eptesicus fuscus*) Foraging at a Colorado Superfund Site. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology* 2001; 40:112–120.

O'Shea TJ, Johnson JJ. Environmental contaminants and bats: investigating exposure and effects. In: Kunz TH, Parsons S (eds) *Ecological and behavioral methods for the study of bats*, 2nd edn. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD; 2009. p 500–528

Páez-Osuna F, Calderón-Campuzano MF, Soto-Jiménez MF, Ruelas-Inzunza JR. Lead in blood and eggs of the sea turtle, *Lepidochelys olivacea*, from the eastern Pacific: Concentration, isotopic composition and maternal transfer. *Marine Pollution Bulletin* 2010; 60: 433–439.

Palencia-Severiche G, Mercado-Fernández T, Combath-Caballero E. Estudio Agroclimático del Departamento de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba; 2006. 126 p.

Pérez AA, Fajardo MA, Strobl MA, Pérez LB, Piñeiro A. Contenido de plomo, cromo y cadmio en moluscos comestibles del Golfo San Jorge (Argentina). *Acta Toxicológica Argentina* 2005; 13(1): 20-25.

PNNP. Parque Nacional Natural Paramillo. Plan de Manejo 2004 – 2011. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Dirección Territorial Noroccidental. Tierralta; 2005. 201p.

Pokorny B, Sayegh-Petkovsek SA, Ribaric-Lasnik C, Urtânik J, Doganoc DZ, Adamic M. Fungi ingestion as an important factor influencing heavy metal intake in roe deer: evidence from faeces. *Science of the Total Environment*. 2004.

Primack R. 2002. *Introducción a la Biología de la conservación*. Ed. Ariel SA. Ciencia. Barcelona. 376p.

Prohaska J, Gybina A. Intracellular copper transport in mammals. *American Society Nutritional sciences. Journal Nutrition* 2004; 134: 1003-1006.

Racero-Casarrubia J, Pinedo-Hernández J, Ballesteros-Correa J, Marrugo-Negrete JL. Metales pesados en especies de murciélagos (Quiróptera)

asociados a una finca bajo manejo silvopastoril en el departamento de Córdoba, Colombia. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 2017; 33(1), 45-54.

Ramírez JA, Lacasaña M. Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Arch Prev Riesgos Labor*. 2001; 4: 67-75

Reilly C. Metal contamination of food. Elsevier Applied Science: 2002; 3-151.

Rodríguez JJ, Oliveira PA, Hidalgo LE, Ginja MM, Silvestre AM, Ordoñez C, Serantes AE, Gonzalo-Orden JM, Orden MA. Lead toxicity in captive and wild Mallards (*Anas platyrhynchos*) in Spain. *Journal of Wildlife Diseases* 2010; 46:854-63.

Ruelas JR, Horvat M, Pérez, Páez H. Methylmercury and total distribution in tissues of gray whales (*Eschrichtius robustus*) and spinner dolphins (*Stenella longirostris*) stranded along the lower Gulf of California, Mexico. *Ciencias Marinas* 2003. Vol 29 N°001. pp 1-8.

Sadiq M, Zaidi T, Al-Mohana M. Sample weight and digestion temperature as critical factors in mercury determination in fish. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 1991; 47, 335-341.

Sánchez-Palencia Y, Ortiz JE, de Torres T. Origen y distribución de pesticidas organoclorados (OCPs) en sedimentos actuales de la Laguna de El Hito (Cuenca, España Central). *Geogaceta* 2015; 58 (2015), pp119-122.

Senthilkumar K, Kurunthachalam K, Annamalai S, Shinsuke T. Accumulation of Organochlorine Pesticides and Polychlorinated Biphenyls in Sediments, Aquatic Organisms, Birds, Bird Eggs and Bat Collected from South India. *ESPR - Environmental Science & Pollution Research* 2001; 8 (1): 35 - 47.

Sevillano JS. Metales pesados en especies cinegéticas de caza mayor: estudio epidemiológico y riesgo alimentario. 2013. 337pp.

Simmons NB. Order Chiroptera. En Wilson D, Reeder DM, editores. *Mammal species of the world: a taxonomic and geographical reference*. Tercera edición. John Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA. 2005. Pp 312-529.

Sonne C, Dietz R, Leifsson PS, Asmund G, Born EW, Kirkegaard M. Are liver and renal lesions in East Greenland polar bears (*Ursus maritimus*) associated with high mercury levels *Environmental Health* 2007. Vol 6: art. 11.

Soriano P. Functional structure of bat communities in tropical rainforest rainforest and Andean Cloud Forest. *Ecotropicos* 2000; 13(1):1-20.

Stork N, Sherman K. *Inventoring and monitoring. Global biodiversity assessment*, 1st edition. United Nation Environmental Programme, Cambridge.1995.

Tataruch F, Kierdorf H. Mammals as bioindicators. En: Bioindicators and Biomonitoring: principles, concepts and applications (Ed. Markert BA, Breure AM, Zechmeister HG, Elsevier). Amsterdam, Países Bajos. 2003.

Thies M, Gregory D. Residues of Lead, Cadmium, and Arsenic in Livers of Mexican Free-Tailed Bats. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 1994; 52:641-648.

Thies ML, McBee K. Cross-placental transfer of organochlorine pesticides in Mexican free-tailed bats from Oklahoma and New Mexico. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 1994; 27:239-242.

Thies ML, Thies K, McBee K. Organochlorine pesticide accumulation and genotoxicity in Mexican free-tailed bats from Oklahoma and New Mexico. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 1996; 30:178-187.

Thies ML, Thies KM. Organochlorine Residues in Bats from Eckert James River Cave, Texas. Springer-Verlag New York Inc. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 1997; 58:673-680.

Timm RM, LaVal RK. A field key to the bats of Costa Rica. Occasional Publication Series, Center of Latin American Studies. The University of Kansas 1998; N° 22: 1-30.

USEPA (U.S. Environmental protection Agency). Mercury study report to congress, Volume III: Fate and transport of mercury in the environment. Chicago: USEPA; 1997. 171p.

Velazco, P. M. & Patterson, B. D. (2013). Diversification of the Yellow-shouldered bats, Genus *Sturnira* (Chiroptera, Phyllostomidae), in the New World tropics. Molecular Phylogenetics and Evolution, 68(3), 683–698.

Wada Y, Van Beek LPH, Van Kempen CM, Reckman JWTM, Vasak S, Bierkens MFP. Global depletion of groundwater resources. Geophysical Research 2010. Letters 37, L20402.

Waisberg M, Joseph P, Hale B, Beyersmann D. Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. Toxicology 2013; 3(4). pp. 95-117

Walker L, Simpson V, Rockett L, Wienburg C, Shore R. Heavy metal contamination in bats in Britain. Environmental Pollution 2007; 148: 483-490.

Wickramasinghe LP, Harris S, Jones G, Vaughan N. Bat activity and species richness on organic and conventional farms: impact of agricultural intensification. Journal Applied Ecology 2003; 40:984–993.

Williams M, Ramos D, Butrón S, Gonzales-Zúñiga N, Ortiz N, La Torre B. Concentraciones de metales pesados en Murciélago del lodge “cock of the

rocks" y alrededores, Kosñipata, Cuzco, Perú. *Ecología aplicada* 2010; 9 (2): 133-139.

Woshner VM, O'hara TM, Bratton GR, Beasley BR. Concentrations and interactions of selected essential elements in ringed seals and polar bears of arctic Alaska. *Journal Wildlife Diseases* 2001; 37: 711-721.

Wright D, Welbourn P. *Environmental Toxicology*. Cambridge University Press. Cambridge; 2002. Pp 629

Yates DE, Mayack DT, Munney K, Evers DC, Major A, Kaur T, Taylor RJ. Mercury levels in mink (*Mustela vison*) and river otter (*Lontra canadensis*) from northeastern North America. *Ecotoxicology* 2005; 14:263–274.

Yates T, Jones C, Cook J. Preservation of voucher specimens. En: Wilson D, Russell F, Nichols J, Rudran R, Foster M. *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals*. Smithsonian Institution Press. Washington. 1996. 409 pp.

Yates, E., E. Adams, S.E. Angelo, D. Evers, J. Schmerfeld, M. Moore, T.H. Kunz, T. Divoll, S. Edmonds, C. Perkins, R. Taylor & N. O'Driscoll. Mercury in bats from the northeastern United States. *Ecotoxicology* 2014; 23:45–55.

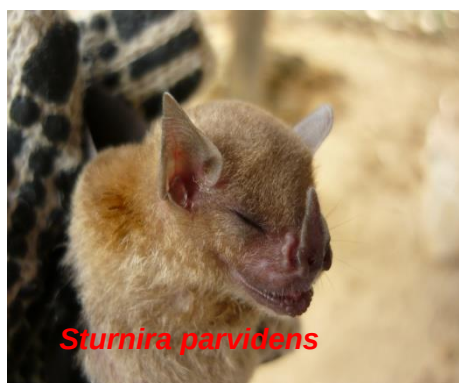
Zakrzewski SF. *Principles of Environmental Toxicology*. ACS, Washington. 1991.

Zocche J, Leffa D, Damiani P, Carvalho F, Mendonca R, Dos Santos CE, Bouffleur L, Ferraz J, de Andrade VM. Heavy metals and DNA damage in blood cells of insectivore bats in coal mining areas of Catarinense coal basin, Brazil. *Environmental Research* 2010; 110(7): 684-91

Zurrita AA, Badii MH, Guillen A, Lugo Serrato O, Aguilar JJ. Factores Causantes de Degradación Ambiental. *Daena: International Journal of Good Conscience* 2015; 10(3)1-9.

ANEXOS

Anexo 1. Registros fotográficos de algunas especies de mamíferos voladores registradas en el sector Manso-Tigre, PNN Paramillo. Fotos: Jesús Ballesteros y Javier Racero-Casarrubia.



Anexo 2. Concentraciones de metales pesados (Cd, Cu, Hg, Pb y Zn) en músculo de murciélagos.

Familia	Especie	IDF	Pb (µg/g)	Zn (µg/g)	Cd (µg/g)	Cu (µg/g)	Hg (µg/g)
Phyllostomidae	<i>Artibeus planirostris</i>	Promedio	0.075166667	0.725	0.006833333	0.55833333	0.067
		Rango	0.051-0.092	0.16-1.52	0.0046-0.0092	0.34-0.75	0.061-0.072
	<i>Carollia perspicillata</i>	Promedio	0.0505	34.105	0.019166667	14.5766667	0.0475
		Rango	0.029-0.073	19.78-56.82	0.0038-0.085	2.18-29.48	0.022-0.068
	<i>Carollia castanea</i>	Promedio	0.050166667	10.6816667	0.005816667	11.5133333	0.04816667
		Rango	0.039-0.072	0.45-30.6	0.001-0.0124	0.91-33.35	0.033-0.094
	<i>Dermanura sp</i>	Promedio	0.034333333	0.37	0.02155	0.76833333	0.071
		Rango	0.013-0.056	0.180.56	0.0054-0.056	0.36-1.13	0.021-0.102
	<i>Sturnira parvidens</i>	Promedio	0.102333333	6.53533333	0.00685	4.10333333	0.03716667
		Rango	0.053-0.17	0.48-19.97	0.0056-0.0093	0.26-21.85	0.014-0.067
	<i>Desmodus rotundus</i>	Promedio	0.065166667	6.175	0.0066	0.715	0.10016667
		Rango	0.024-0.095	0.41-15.51	0.0053-0.0081	0.16-1.8	0.075-0.132
	<i>Trachops cirrhosus</i>	Promedio	0.0404	6.344	0.02384	6.348	0.0888
		Rango	0.023-0.131	0.01-15.94	0.0078-0.047	0.02-12.79	0.057-0.322
	<i>Platyrrhinus helleri</i>	Promedio	0.063833333	12.9766667	0.0065	5.345	0.0675
		Rango	0.027-0.097	3.91-42.64	0.0051-0.0072	2.77-8.30	0.029-0.095
	<i>Micronycteris microtis</i>	Promedio	0.132833333	0.55666667	0.007066667	0.06833333	0.10433333
		Rango	0.089-0.178	0.32-0.78	0.0054-0.0085	0.050-0.080	0.062-0.142
	<i>Phylloderma stenops</i>	Promedio	0.0966	0.2648	0.007	0.37	0.0602
		Rango	0.067-0.133	0.094-0.53	0.0043-0.0094	0.18-0.62	0.031-0.084
	<i>Phyllostomus hastatus</i>	Promedio	0.129833333	0.51166667	0.0065	0.375	0.09883333
		Rango	0.071-0.236	0.182-0.870	0.0034-0.0088	0.10-0.67	0.059-0.187
Mormoopidae	<i>Pteronotus parnellii</i>	Promedio	0.076	8.07233333	0.0075	11.0266667	0.1355
		Rango	0.063-0.094	0.73-24.5	0.0062-0.0084	1.27-31.28	0.107-0.162
Vespertilionidae	<i>Eptesicus chiriquinus</i>	Promedio	0.089833333	0.4695	0.006283333	0.20333333	0.10233333
		Rango	0.061-0.098	0.243-0.63	0.0032-0.0073	0.1-0.32	0.083-0.145

Continuación Anexo 2. Concentraciones de metales pesados en hígado de murciélagos.

Familia	Especie	IDF	Pb (µg/g)	Zn (µg/g)	Cd (µg/g)	Cu (µg/g)	Hg (µg/g)
Phyllostomidae	<i>Artibeus planirostris</i>	Promedio	0,104	32,205	0,067	8,76	0,113
		Rango	0,094-0,119	17,8-44,6	0,016-0,102	2,1-22,05	0,067-0,143
	<i>Carollia perspicillata</i>	Promedio	0,14683333	29,22	0,0403	33,22	0,08666667
		Rango	0,097-0,263	12,3-53,7	0,018-0,079	16,1-53,1	0,064-0,115
	<i>Carollia castanea</i>	Promedio	0,0875	36,68	0,01895	18,33	0,10783333
		Rango	0,076-0,113	30,6-43,9	0,015-0,025	2,96-40,8	0,058-0,142
	<i>Dermanura sp</i>	Promedio	0,11516667	16,9398333	0,10613333	11,7266667	0,13483333
		Rango	0,06-0,204	0,085-38,05	0,022-0,284	3,28-30,71	0,071-0,234
	<i>Sturnira parvidens</i>	Promedio	0,104	24,44	0,02078333	22,53	0,0775
		Rango	0,078-0,133	6,82-39,7	0,012-0,038	7,21-35,11	0,054-0,103
	<i>Desmodus rotundus</i>	Promedio	0,0855	27,4016667	0,03496667	37,9583333	0,15483333
		Rango	0,055-0,117	11,2-41,5	0,017-0,058	25,2-64,7	0,108-0,206
	<i>Pteronotus parnellii</i>	Promedio	0,11216667	41,9716667	0,03368333	26,88	0,19833333
		Rango	0,103-0,125	32,7-58,64	0,0235-0,049	18,5-43,2	0,1-0,32
	<i>Trachops cirrhosus</i>	Promedio	0,0955	27,1466667	0,066	26,865	0,20766667
		Rango	0,074-0,117	11,2-50,4	0,019-0,105	12,8-52,48	0,094-0,372
	<i>Platyrrhinus helleri</i>	Promedio	0,0856	23,61	0,0793	30,308	0,1036
		Rango	0,064-0,106	7,4-37,1	0,050-0,108	17,5-40,2	0,067-0,172
	<i>Micronycteris microtis</i>	Promedio	0,1036	24,368	0,0809	26,684	0,0918
		Rango	0,088-0,109	8,32-34,7	0,049-0,105	12,1-44,8	0,064-0,118
	<i>Phylloderma stenops</i>	Promedio	0,11366667	27,255	0,0628	26,8766667	0,09216667
		Rango	0,072-0,143	10,7-43,4	0,038-0,094	10,7-45,4	0,065-0,121
	<i>Phyllostomus hastatus</i>	Promedio	0,0975	25,885	0,05531667	35,1716667	0,08433333
		Rango	0,075-0,121	10,4-53,6	0,028-0,077	16,8-55,3	0,051-0,113
Vespertilionidae	<i>Eptesicus chiroquinus</i>	Promedio	0,0905	18,63	0,05336667	10,9583333	0,06083333
		Rango	0,071-0,109	6,7-33,5	0,020-0,080	4,22-17,2	0,033-0,077

