



**METALES PESADOS EN ESPECIES DE MURCIÉLAGOS (QUIRÓPTERA)
ASOCIADOS A UNA FINCA BAJO MANEJO SILVOPASTORIL
EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, COLOMBIA**

**HEAVY METALS IN BAT (CHIROPTERA) SPECIES ASSOCIATED
WITH A FARM UNDER SILVOPASTORAL MANAGEMENT
IN THE DEPARTMENT OF CORDOBA, COLOMBIA**

**JAVIER RACERO-CASARRUBIA,¹ JOSÉ PINEDO-HERNÁNDEZ,^{2,*} JESÚS
BALLESTEROS-CORREA¹ Y JOSÉ MARRUGO-NEGRETE²**

¹ Grupo Investigaciones Biodiversidad Universidad de Córdoba, Colombia

² Grupo de aguas, química aplicada y ambiental, Universidad de Córdoba. Cra 6 # 76-103, Montería, Colombia.

Correos electrónicos: Javier Racero-Casarrubia <javierracero@yahoo.es>; José Pinedo Hernández <josejph@hotmail.com>; José Marrugo-Negrete <jlmarrugon@hotmail.com>; Jesús Ballesteros-Correa <jballescor@yahoo.com>

* Autor para correspondencia: Javier Racero-Casarrubia Barrio Galilea Dg 2 Trasy 12 # 1ª87 Montería Córdoba, Colombia. Telefono 4+7868838

Recibido: 04/03/2016; aceptado: 07/11/2016

Editor responsable: Vinicio Sosa

Racero-Casarrubia, J., Pinedo-Hernández, J., Ballesteros-Correa, J. y Marrugo-Negrete, J. (2017) 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.)*, 33(1), 45-54.

Racero-Casarrubia, J., Pinedo-Hernández, J., Ballesteros-Correa, J., & Marrugo-Negrete, J. (2017) Heavy metals in bat (Chiroptera) species associated with a farm under silvopastoral management in the department of Cordoba, Colombia. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, 33(1), 45-54.

RESUMEN. Metales pesados en especies de murciélagos (Quiróptera) asociados a una finca bajo manejo silvopastoril en el departamento de Córdoba, Colombia. En este trabajo se evaluó por primera vez para el departamento de Córdoba los niveles de oligoelementos (Zn, Cu, Pb y Hg) en músculo e hígado de ocho especies de murciélagos de las familias Phyllostomidae y Emballonuridae, presentes en una finca con manejo silvopastoril. Se determinó la concentración de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito (Pb, Zn, Cd, Cu) y vapor frío (Hg). Se encontraron metales pesados en 24 murciélagos de ocho especies. El contenido de metales pesados en los diferentes tejidos siguió el orden Zn > Cu > Pb > Hg para la mayoría de las especies. La concentración de metales pesados en hígado y músculo presentaron diferencias estadísticas significativas. La contaminación por metales pesados en murciélagos asociados a un sistema silvopastoril posiblemente esté relacionada con el empleo de agroquímicos, pesticidas y compuestos fosfatados para el manejo de este agroecosistema.

Palabras clave: Agroecosistema, bosque seco tropical, perturbación, quiroptera, trazas.

ABSTRACT. In this paper evaluated for the first time in the department of Córdoba, levels of trace elements (Zn, Cu, Pb and Hg) in muscle and liver of eight bats species of the families Phyllostomidae and Emballonuridae, present in a farm with silvopastoral management. The concentration of heavy metals was determined by atomic absorption spectrophotometry with graphite furnace (Pb, Zn, Cd, Cu) and cold vapor (Hg). Heavy metals were found in 24 bats of eight species. The heavy metal content in different tissues followed the order Zn > Cu > Pb > Hg for most species. The concentration of heavy metals in liver and muscle showed statistically significant differences. Contamination by heavy metals in bats associated with a silvopastoral system may be related to the use of agrochemicals, pesticides and phosphate compounds for this agro-ecosystem management.

Key Words: agroecosystem, disturbance, quiroptera, traces, tropical dry forest.

INTRODUCCIÓN

Los contaminantes afectan tanto a los organismos como a los ecosistemas. Los metales pesados ocasionan daños a los organismos expuestos, bien por su aguda toxicidad, o porque se acumulan en los tejidos de plantas y animales a través de exposiciones repetidas (Ortiz 1983). En los últimos años, en el departamento de Córdoba se ha documentado la presencia de metales pesados en sedimentos, aguas, plantas, peces y humanos (Gracia *et al.* 2009, Marrugo *et al.* 2010, Feria *et al.* 2010, Marrugo *et al.* 2012, Marrugo *et al.* 2015, Marrugo *et al.* 2016). Además, existen reportes de genotoxicidad por metales pesados en pequeños mamíferos (roedores) asociados a zonas de explotación carbonífera (Espitia *et al.* 2007) e incluso se tienen reportes de contaminantes (Hg) en grandes mamíferos como jaguares (Racero *et al.* 2012). En Colombia es deficiente la información referente al efecto de contaminantes ambientales (metales pesados) en fauna y en especial en mamíferos silvestres, como por ejemplo los murciélagos, grupo que presenta una alta sensibilidad a los cambios inducidos en los ecosistemas por diferentes actividades antropogénicas (Clarke *et al.* 2005, Hayes & Loeb 2007, Kunz *et al.* 2007). La importancia de conocer los niveles de los metales pesados en murciélagos, radica en que este grupo de mamíferos voladores cumplen un papel crucial como agentes polinizadores y controladores de insectos plaga, e incluso su utilización como biomonitores para determinar, a corto y mediano plazo, los niveles y efectos de las perturbaciones producidas por acción del hombre en un determinado ecosistema (Medellín *et al.* 2000, Hoenerhoff & Williams 2004, Castro *et al.* 2007, Walker *et al.* 2007, Jones *et al.* 2009). El objetivo de este trabajo fue determinar las concentraciones de metales pesados (Pb, Zn, Cd, Cu, Hg) en hígado y músculo de murciélagos presentes en una finca con manejo silvopastoril de Córdoba. Se espera que esta investigación sea el inicio de una línea base que permita a mediano plazo considerar a los murciélagos, un grupo de amplia diversidad trófica, como grupo monitor en los estudios de contaminantes ambientales para la Región Caribe colombiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Las muestras provienen de murciélagos presentes en un relicto de bosque seco tropical (~100 ha) de una finca con manejo silvopastoril en la subregión costanera en el municipio de Los Córdoba, al noroccidente

de Colombia (Fig. 1). Esta región posee un clima cálido tropical con temperatura promedio de 28°C, precipitación promedio anual de 1200 mm/año con distribución unimodal, época seca entre los meses de diciembre-marzo y lluviosa entre abril-noviembre. La finca presenta actividades como ganadería extensiva con praderas naturales poli-específicas y rastrojos asociados, prácticas de manejo agroforestal (>12 años) y control de malezas sin aplicación de plaguicidas ni herbicidas. Sin embargo, para el control de ectoparásitos en bovinos se realizan actividades de baño del ganado con plaguicidas. En las fincas aledañas se mantiene una agricultura y ganadería tradicional donde se usan una variedad de plaguicidas para el manejo de las fincas, además se emplea maquinaria agrícola que funciona con combustibles derivados del petróleo (gasolina y Aceite Combustible para Motores ACPM). Los fragmentos de bosque muestreados presentan no intervención > 30 años, la vegetación de la zona está representada por las familias Arecaceae, Apocynaceae, Bignoniaceae, Piperaceae, Fabaceae, Malvaceae, Cannabaceae, Capparaceae, Caricaceae, Cyclanthaceae, Euphorbiaceae, Heliconiaceae, Lecythidaceae, Meliaceae, Moraceae, Muntingiaceae, Rubiaceae, Sapindaceae, Solanaceae y Urticaceae (Vela 2013).

Recolección de muestras. Se utilizaron 14 redes de neblina de seis a doce metros de largo y 2.5 de ancho, las cuales fueron colocadas en sitios considerados de tránsito, forrajeo y/o refugio de los murciélagos, dentro de áreas de bosque seco tropical, desplegadas desde las 18:00 hasta las 06:00 h. La recolección de muestras fue realizada durante una semana en la cual se obtuvo el número de individuos (3) por especies. Los individuos capturados se identificaron siguiendo las claves taxonómicas Emmons *et al.* (1997), Linares (2000), LaVal & Rodríguez (2000) y las descripciones de Gardner (2007). Para el tratamiento taxonómico se siguió a Wilson & Reeder (2005). Las muestras de hígado y músculo (0.5 g) fueron colectadas en el mes de junio del año 2012. Las hembras preñadas no fueron colectadas, se midieron, pesaron, marcaron y fueron liberadas. Los individuos no sacrificados fueron marcados con tatuadora en el mesopatagio y liberados en el sitio de captura. Para la investigación se emplearon normas técnicas, científicas y administrativas estipuladas en la Ley 84 (Congreso Nacional de Colombia, 1989). El análisis de metales pesados (Pb, Zn, Cd, Cu, Hg) se realizó en muestras provenientes de 24 individuos de murciélagos de diferentes gremios alimenticios: insectívoros, omnívoros, frugívoros y nectarívoros según Soriano (1983).

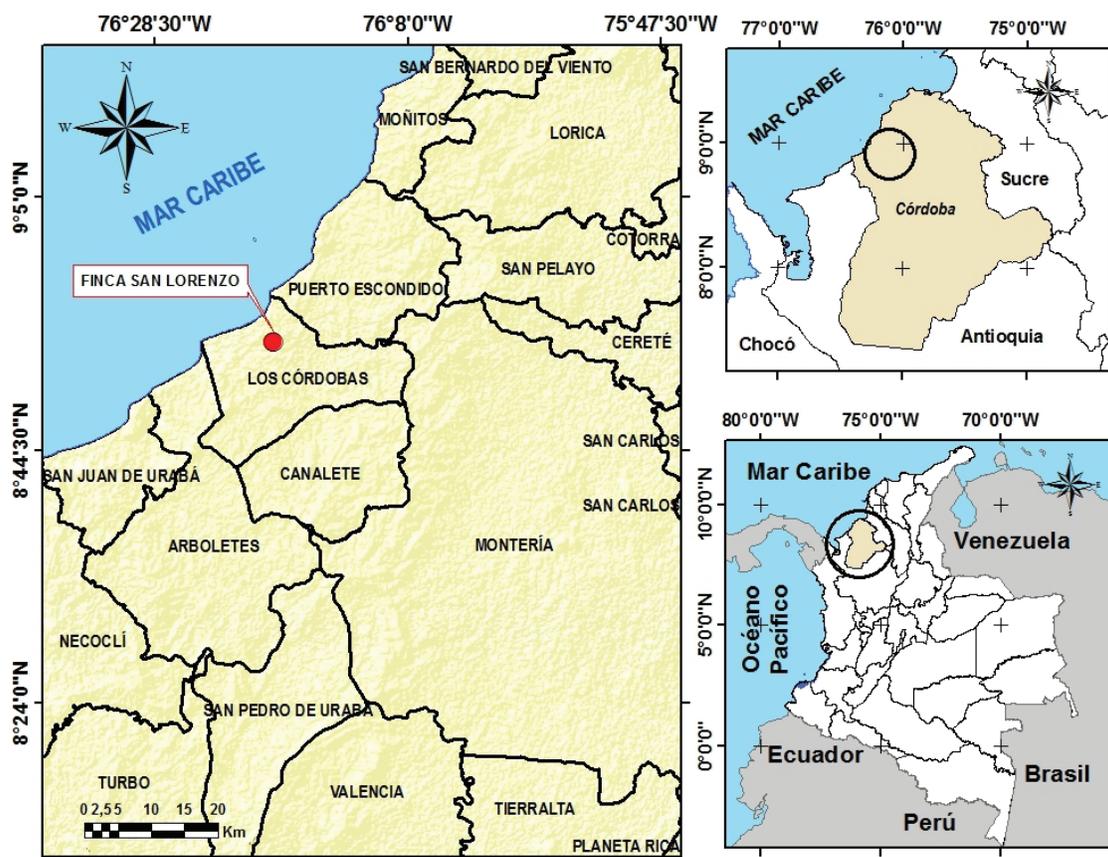


Figura 1. Localización del área de estudio, Finca San Lorenzo, Municipio de Los Córdoba, Departamento de Córdoba, Colombia.

Análisis de muestras. Se analizaron muestras de tejido (músculo e hígado) de tres individuos adultos por cada especie colectada. Las muestras de tejido fueron depositadas por separado en bolsas Ziploc®, refrigeradas a 4°C durante la etapa de muestreo y posterior congelación (-4°C) hasta su análisis en el laboratorio de Toxicología y gestión ambiental de la Universidad de Córdoba, Colombia. La concentración de mercurio total (THg) se determinó por espectrofotometría de absorción atómica con vapor frío (CV-AAS, Thermo Scientific modelo de la serie ICE 3500) previa digestión ácida de las muestras (0.5 g de peso húmedo) con H₂SO₄/HNO₃ (2:1) durante 2 horas a 100°C (Sadiq *et al.* 1991, Marrugo *et al.* 2008). El análisis de metales (Cu, Pb, Zn) fueron realizados por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito (Thermo Scientific modelo de la serie ICE 3500) previa digestión ácida de la muestra (0.5 g de peso húmedo) con HNO₃ / HCl (3:1) durante tres horas a 95°C (Hulya & Erhan 2007). El control de calidad analítico del método se realizó con material de referencia certificado IAEA 407.

El porcentaje de recuperación para los diferentes metales fue entre 91% a 98%. El límite de detección para los diferentes metales fue 0.011 µg Pb g⁻¹, 0.014 µg Hg g⁻¹, 0.016 µg Zn g⁻¹ y 0.05 µg Cu g⁻¹.

El resultado del análisis de cada muestra se presenta como el promedio (± DE) de las determinaciones realizadas por triplicado. La prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas indicó que los datos no presentan distribución normal. Se utilizó la prueba t-test Student's para evaluar si había diferencias significativas entre las concentraciones medias de tejidos entre especies empleando criterio de significancia de $p < 0,05$. El análisis multivariado como el análisis cluster (AC) y el análisis de componentes principales (PCA) se emplearon con el objetivo de identificar asociaciones entre elementos y grupos de elementos. PCA se utilizó con la rotación Varimax para reducir al mínimo el número de variables con una alta carga en cada componente. El AC fue desarrollado de acuerdo con el método de asociación simple, y la correlación de Pearson como medida de similitud. Los resultados

se presentan en forma de dendrograma que proporciona un resumen visual de la agrupación. Los resultados de PCA fueron interpretados de acuerdo a las fuentes hipotéticas. El análisis de datos se realizó utilizando Statgraphics Centurion XV.II.

RESULTADOS

El cuadro 1 muestra los murciélagos neotropicales de la familia Phyllostomidae pertenecientes a cuatro gremios tróficos, y que son reconocidos como indicadores de perturbación ambiental (Fenton *et al.* 1992, Medellín *et al.*

2000); además de la familia Emballonuridae en menor proporción de especies. La concentración de metales pesados en hígado y músculo de las especies analizadas se muestra en el cuadro 2. En músculo las especies *S. leptura* y *A. planirostris* presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en el contenido de Zn, mientras que Cu presentó entre la especie *A. planirostris* con respecto a las especies *C. perspicillata* y *P. discolor*. En Hígado el contenido de Cd presentó diferencia estadísticamente significativa para la especie *A. planirostris*. La mayoría de las especies presentaron el orden de acumulación de metales pesados en hígado y músculo $Zn > Cu > Pb > Hg$. Las especies que presentaron mayor contenido de meta-

Cuadro 1. Especies de murciélagos analizadas en el estudio. GF = Grupo Funcional: 1 controlador de plagas, 2 depredador, 3 dispersor de semillas y 4 polinizador.

Familia	Especie	Gremio	GF
Emballonuridae	<i>Saccopteryx leptura</i> (Schrever, 1774)	Insectívoro	1
Phyllostomidae	<i>Phyllostomus discolor</i> (Wagner, 1843)	Omnívoro	2
Phyllostomidae	<i>Carollia perspicillata</i> (Linnaeus, 1758)	Frugívoro	3
Phyllostomidae	<i>Artibeus lituratus</i> (Olfers, 1818)	Frugívoro	3
Phyllostomidae	<i>Artibeus planirostris</i> (Spix, 1823)	Frugívoro	3
Phyllostomidae	<i>Dermanura phaeotis</i> Miller, 1902	Frugívoro	3
Phyllostomidae	<i>Sturnira lilium</i> (E. Geoffroy Saint Hilaire, 1810)	Frugívoro	3
Phyllostomidae	<i>Glossophaga soricina</i> (Pallas, 1766)	Nectarívoro	4

Cuadro 2. Concentraciones de metales ($\mu\text{g g}^{-1}$) pesados encontradas en hígado y músculo de murciélagos en la finca San Lorenzo, Municipio de Los Córdoba, Córdoba-Colombia (N = # ejemplares, T= tejido, H = hígado, M = músculo).

Especies	N	T	Pb	Zn	Cu	Hg
<i>Saccopteryx leptura</i>	3	M	0.021 ± 0.005	1.040 ± 0.16	0.287 ± 0.11	0.022 ± 0.007
		H	0.065 ± 0.007	1.953 ± 0.19	0.892 ± 0.14	0.046 ± 0.005
<i>Artibeus planirostris</i>	3	M	0.024 ± 0.003	0.884 ± 0.13	1.230 ± 0.12	0.026 ± 0.008
		H	0.054 ± 0.006	1.732 ± 0.11	2.340 ± 0.37	0.049 ± 0.010
<i>Dermanura phaeotis</i>	3	M	0.024 ± 0.005	0.546 ± 0.09	0.658 ± 0.13	0.018 ± 0.005
		H	0.051 ± 0.009	2.450 ± 0.23	1.027 ± 0.21	0.067 ± 0.009
<i>Carollia perspicillata</i>	3	M	0.038 ± 0.008	0.197 ± 0.17	0.220 ± 0.08	0.033 ± 0.010
		H	0.051 ± 0.006	1.820 ± 0.25	0.604 ± 0.14	0.057 ± 0.015
<i>Phyllostomus discolor</i>	3	M	0.024 ± 0.008	0.301 ± 0.11	0.183 ± 0.07	0.044 ± 0.005
		H	0.056 ± 0.006	1.990 ± 0.32	0.725 ± 0.12	0.087 ± 0.015
<i>Glossophaga soricina</i>	3	M	0.026 ± 0.006	0.531 ± 0.10	0.741 ± 0.19	0.042 ± 0.009
		H	0.066 ± 0.007	1.670 ± 0.13	1.840 ± 0.41	0.079 ± 0.013
<i>Artibeus lituratus</i>	3	M	0.020 ± 0.009	0.157 ± 0.05	0.219 ± 0.06	0.018 ± 0.007
		H	0.055 ± 0.015	1.490 ± 0.16	0.527 ± 0.12	0.034 ± 0.004
<i>Sturnira lilium</i>	3	M	0.025 ± 0.008	0.203 ± 0.07	0.284 ± 0.09	0.023 ± 0.006
		H	0.046 ± 0.006	1.340 ± 0.19	0.483 ± 0.12	0.056 ± 0.008



les pesados en hígado fueron: *G. soricina* (Pb: 0.066 $\mu\text{g g}^{-1}$), *D. phaeotis* (Zn: 2.450 $\mu\text{g g}^{-1}$), *A. planirostris* (Cu: 2.340 $\mu\text{g g}^{-1}$), *P. discolor* (Hg: 0.087 $\mu\text{g g}^{-1}$); mientras que en músculo, las especies *S. leptura* (Zn: 1.040 $\mu\text{g g}^{-1}$), *A. planirostris* (Cu: 1.230 $\mu\text{g g}^{-1}$), *P. discolor* (Hg: 0.044 $\mu\text{g g}^{-1}$) y *C. perspicillata* (Pb: 0.038 $\mu\text{g g}^{-1}$) presentaron las mayores concentraciones.

DISCUSIÓN

En todas las especies de murciélagos evaluados la concentración de Zn en hígado y músculo fue superior a la concentración de Cu, Pb y Hg. De los metales pesados analizados en hígado y músculo los contaminantes Hg y Pb presentaron la menor concentración. Sin embargo, esta baja concentración en tejido animal no descarta el riesgo potencial, debido a que estos metales pesados son precursores de efectos tóxicos de gran impacto a través del tiempo (Pérez *et al.* 2005). La concentración de metales en hígado fue superior a la reportada en músculo, probablemente relacionado a su rol en el metabolismo, como el principal órgano de almacenamiento, regulación y desintoxicación del organismo (Quang Le *et al.* 2010, Barhoumi *et al.* 2012, Weber *et al.* 2013), siendo este el órgano que refleja más sensiblemente los cambios en la exposición medioambiental a los metales (Luoma & Rainbow 2011). Las concentraciones de metales pesados reportadas en este trabajo son menores a las reportadas en hígado y páncreas por Williams *et al.* (2010) en tres especies de murciélagos de los géneros *Anoura*, *Sturnira* y *Carollia* para Pb, Cd, Cu y Zn en la región del Cusco Perú; menores a las reportadas en Gran Bretaña por Walker *et al.* (2007) para Hg, Cd y Pb en tejido hepático y renal en murciélagos insectívoros (*Myotis mystacinus*, *Myotis nattereri* y *Pipistrellus spp*) y menores a las reportadas por Hoenerhoff & Williams (2004) para Cobre en el Murciélago de la fruta (*A. jamaicensis*) en México. Sin embargo, para este trabajo los valores son similares en algunos casos a los reportados por Yates *et al.* (2013) para la concentración de Hg en pelo y sangre de cinco especies de murciélagos (*Myotis leibii*, *Myotis sodalis*, *Lasiurus borealis*, *Lasiurus cinereus* y *Lasionycteris noctivagans*) en el noreste de Estados Unidos y similares a lo que registra O'Shea *et al.* (2001) para Hg en *Eptesicus fuscus* al noreste de Denver, Colorado.

Diferentes autores expresan que las principales fuentes de alimento (insectos y plantas), pueden acumular metales y ser transferidos a los murciélagos al ser inge-

ridos por éstos; sin embargo, los individuos más jóvenes, hembras preñadas, lactantes, los desnutridos o enfermos, muestran mayor sensibilidad o requerimiento (Eckert & Randall 1990, McDowell 1992, Walker *et al.* 2007). Además, la época de lluvias puede influir en las concentraciones de metales pesados, ya que varía la disponibilidad de alimento, entrada de minerales al entorno y absorción de los elementos por parte de las plantas (McDowell 1992, Espinoza 2000). En los animales, los metales son bioacumulados y excretados por órganos como el hígado y el páncreas (McDowell 1992, Albert 1997, Milton & Johnson, 1999), y puesto que no presentan una función biológica conocida, aunque se encuentre en cantidades mínimas, podría implicar graves disfunciones orgánicas (Goyer & Clarkson 2001).

A nivel general, al Pb y Hg no se les ha encontrado ninguna función fisiológica, por lo que son considerados como contribuyentes a la toxicidad cuando se eleva su ingesta (Horvat 2002, Páez *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 como producto de diferentes fuentes antropogénicas, elementos que pueden ser asimilados por vía respiratoria hasta alcanzar concentración tóxica o acumularse por procesos de biomagnificación (Capó 2002). Como consecuencia, las concentraciones de Pb y Hg encontradas en los murciélagos, dependerá además de la dieta, del grado de exposición al contaminante y exposición de las plantas e insectos consumidos por éstos.

Los resultados obtenidos en este trabajo podrían sugerir que las especies analizadas presentan similares niveles de exposición al Pb y Hg, por lo que estarían siendo afectados con la misma intensidad. Sin embargo, la menor asimilación de Hg en las especies de murciélagos, estaría asociada a sus hábitos alimentarios y a las diferencias fisiológicas de asimilación (Walker *et al.* 2007). A diferencia del Pb y Hg, metales como el Cu y Zn cumplen determinadas funciones fisiológicas (Eckert & Randall 1990, Jacinto & Aguilar 2007). Estos nutrientes deben ser absorbidos y eliminados constantemente, manteniéndose los niveles a través de mecanismos homeostáticos, ya que en exceso pueden ser tóxicos y al presentarse escasez se pueden generar deficiencias fisiológicas (Prohaska & Gybina 2004). Su absorción se da principalmente por vía digestiva, por lo que su presencia está relacionada directamente con el tipo de dieta utilizada por las especies.

Con base en tipo de manejo del sistema productivo de la zona de estudio (sistema silvopastoril), planteamos

la posibilidad de que una de las fuentes de metales pesados (Cd, Pb, Zn) fue la aplicación de fertilizantes en suelos (Urea, sulfatos de Cobre y Hierro, fosfatados) para mejoramiento al inicio del proceso de implementar este sistema, así como también la aplicación de plaguicidas empleados para el baño de ganado para el control de ectoparásitos. Otra fuente puede deberse a la dispersión de plaguicidas por fumigación en cultivos cercanos que pueden contener trazas de metales pesados, los cuales pueden entrar en la biota y bio-acumularse a través de la cadena trófica (Gimeno *et al.* 1996, Atafar *et al.* 2010), llegando a estas especies por diferentes rutas de exposición. Además, siendo congruente con lo reportado por Alloway (2013) quien dice que algunos metales pesados están directamente relacionados con fuentes específicas como: fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, Zn), plaguicidas (Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn), compost derivados de residuos sólidos convencionales (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) y del estiércol (Cu, As, Zn), pueden ser consideradas para este estudio posiblemente fuentes de contaminación para estas especies. Así mismo, las aguas de riego provenientes de sistemas de tratamiento o de fuentes contaminadas aportan metales al suelo. Cabe resaltar que debido al régimen alimenticio de las diferentes especies de murciélagos evaluadas otra posibilidad podría ser que estos buscan alimentos en zonas aledañas los cuales pueden contener niveles de metales traza superiores en función de la actividad agrícola, acumulando así estos metales en sus diferentes tejidos; lo anterior estaría relacionado con aspectos comportamentales propios de los murciélagos puesto que las especies analizadas y reportadas para el área de estudio presentan una gran movilidad ya que exploran y forrajean en diferentes estratos del bosque y lugares de la matriz del paisaje en busca de comida que posteriormente llevan al sitio de refugio (Kalko *et al.* 1996; Medellín y Viquez-R 2014).

También se plantea que elementos tóxicos como el Hg también pueden entrar a los ecosistemas a través de la precipitación húmeda o seca del Hg atmosférico, debido a fuentes específicas, tales como la minería de oro en la cuenca del río San Jorge, ubicada a una distancia aproximada de unos 100 km (Ingeominas 2002, Marrugo *et al.* 2014). En el proceso de extracción del oro (amalgamación) se desprende mercurio elemental (Hg) que puede viajar por kilómetros antes de ser depositado en algún ecosistema y causar contaminación en su biota (Maurice *et al.* 2000, Marrugo *et al.* 2008). Cabe señalar que la concentración de Hg también podría estar asociado con el uso de agroquímicos desde hace cuatro décadas, que contenían ingredientes como el fenilmercurio utilizado

como pesticidas y fungicidas, prohibidos por el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) en la resolución 2189 de 1974.

Con el fin de evaluar la relación entre los elementos y grupos de elementos se llevaron a cabo algunas de las técnicas de análisis multivariante (clúster y análisis factorial). El uso de un solo vínculo y los coeficientes de correlación de Pearson análisis de conglomerados modo R (análisis de agrupamiento jerárquico) se llevó a cabo y los resultados se dan en un dendograma (Fig. 2). Los resultados de análisis de conglomerados indican que los elementos comprenden dos grupos principales. El primer grupo está compuesto por los elementos Pb y Hg. El segundo grupo se compone de Zn y Cu. Grupo 1: los niveles de Pb pueden ser atribuidos a la aplicación de fertilizantes minerales considerados como el principal contribuyente a su acumulación posiblemente por la actividad agrícola aledaña a la zona de estudio, que puede ser acumulado por el suelo y así llegar a la cadena trófica. El nivel de Hg probablemente se encuentra relacionado con la aplicación de plaguicidas hace muchos años (40) que contenían Hg. Sin embargo, se necesita mayor información sobre la identificación de fuentes de Hg. El grupo 2 probablemente esté asociado a las prácticas agrícolas tradicionales, tales como la fertilización, riego y la aplicación de plaguicidas consideradas fuentes antropogénicas probables de la acumulación de metales traza. El cobre es generalmente considerado como un elemento marcador de la actividad agrícola y está específicamente relacionado con la aplicación de fertilizantes comerciales (Acosta *et al.* 2011). El estiércol animal también se ha sugerido en la contribución de Zn en suelos, se ha informado que contribuye al 37 - 40 % de las entradas totales de Zn en los suelos agrícolas (Nicholson *et al.* 2003).

Aunque en este estudio no se realizaron análisis de metales pesados en suelos este puede ser una fuente de aporte de forma natural debido que al modificarse factores como por ejemplo pH y materia orgánica (MO) se puede presentar biodisponibilidad de éstos, acumulándose en la cadena trófica (Kelepertzis *et al.* 2014). Lo anterior se puede explicar debido a que la MO juega un papel muy importante en los procesos de contaminación ambiental, ya que a mayores niveles generalmente disminuye la disponibilidad de un contaminante en el medio, debido a su alta capacidad de formar complejos estables con los metales, especialmente en ambientes alcalinos, donde la afinidad es mayor (Silveira *et al.* 2003, Basta 2004). El pH tiene un efecto sobre la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados al afectar el equilibrio entre la espe-

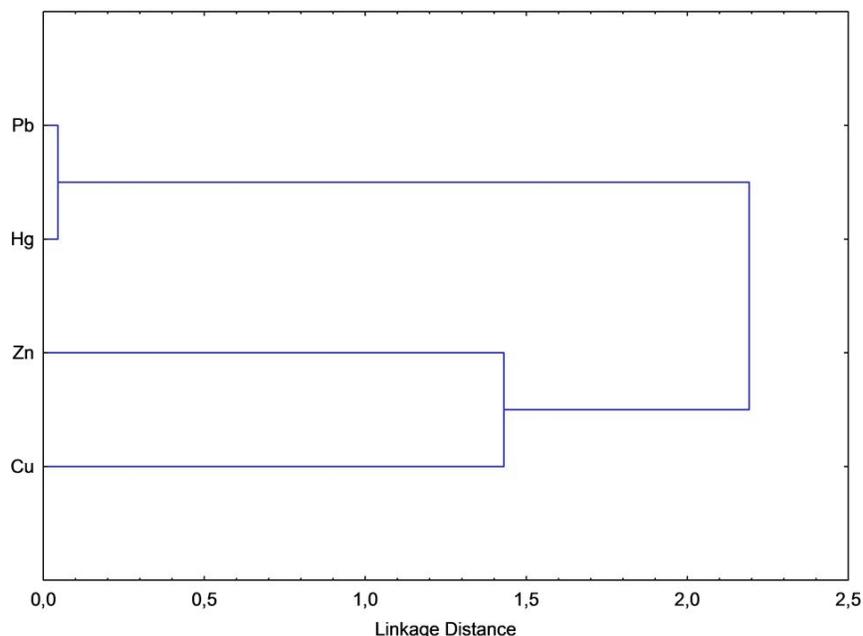


Figura 2. Dendrograma de agrupación jerárquica de los metales pesados.

ciación metálica, solubilidad, adsorción e intercambio de iones (Kabata-Pendias 2000, Reichman, 2002). Razón por la cual valores bajos de pH pueden favorecer la liberación de metales traza por los suelos (Antoniadis *et al.* 2008).

Por ser este trabajo el primer reporte de metales pesados en murciélagos para el departamento de Córdoba y para Colombia; los quirópteros podrían ser considerados en futuras evaluaciones de contaminantes ambientales en fauna silvestre en ecosistemas donde se quieran evaluar perturbaciones ambientales con este grupo de mamíferos que responde gradualmente y se correlaciona a los cambios ambientales; y por presentar una importancia funcional a nivel ecosistémico bien conocida con buenas bases ecológicas (Stork y Sherman 1995, Moreno *et al.* 2007, Jones *et al.* 2009). Se recomienda considerar para el análisis a especies de murciélagos de gremios tróficos como los carnívoros, en las cuales se espera que metales pesados como el mercurio se bioacumulen con mayor rapidez a través de la cadena trófica (Mackay & Fraser 2000, Wright & Welbourn 2002). Y también especies de murciélagos con dietas específicas como los murciélagos pescadores del género *Noctilio* y otras especies que se alimentan de pequeños vertebrados como ranas y aves, una fauna que presenta un alto potencial de bioacumulación de residuos más elevado en función del tiempo. A pesar de que la diferencia de las concentraciones entre los géneros analizados fue baja, se puede decir que esté posiblemente

relacionada con la dieta que presentan los animales, a la asimilación y niveles de exposición de los contaminantes, esperando que las especies frugívoras sean las que presentarían menor concentración en tejidos y las especies insectívoras y carnívoras tendrían los mayores niveles de concentración (Walker *et al.* 2007).

También es importante aclarar que ninguna de las especies analizadas en este trabajo se encuentra en alguna categoría de amenaza y al contrario son consideradas indicadoras de niveles de perturbación ambiental como es el caso de la familia Phyllostomidae (Fenton *et al.* 1992; Medellín *et al.* 2000). Con el fin de determinar cuál es la ruta de exposición de los contaminantes es necesario realizar estudios exhaustivos de la composición química del suelo, concentraciones de metales en las plantas – frutas, insectos consumidos por estos murciélagos y el agua ya que se consideran vías de contaminación en los ecosistemas (Primark, 2002), además de efectuar análisis en otros tejidos y hacer comparaciones con individuos de áreas controles y otras muy contaminadas.

CONCLUSIONES

Los resultados aquí presentados serían los primeros sobre concentraciones de metales pesados en músculo e hígado en murciélagos para Colombia y servirán para posteriores

estudios en ecotoxicología de fauna silvestre en especial con este grupo de mamíferos voladores.

Las diferencias en las concentraciones de los metales 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.

Las variaciones halladas solamente para algunos géneros, podrían atribuirse a la disponibilidad de alimentos, la entrada de minerales al entorno y a la distinta absorción de metales por parte de las plantas.

A pesar de que las muestras fueron tomadas en murciélagos en un sistema silvopastoril existe una gran posibilidad de que la principal fuente de metales pesados fuera a través de la aplicación de fertilizantes en suelos, como también plaguicidas que no necesariamente pueden ser aplicados en la finca de estudio ya que las especies analizadas presentan movilidad o se desplazan en busca de alimento lo que podría indicar que la fuente de alimento podría estar por fuera del sistema silvopastoril, en donde se usan una variedad de plaguicidas para el manejo de las fincas con ganadería y agricultura tradicional.

AGRADECIMIENTOS. Los autores agradecen a la Universidad de Córdoba, Colombia y al apoyo del Grupo de Investigación en Aguas, Química Aplicada y Ambiental. A Jairo Pérez Torres por sus comentarios para mejorar el documento, Katia Reyes Cogollo, Ricardo Ortiz por apoyar la fase de campo y Alba Mosquera Ayala por el componente geográfico. Y a los revisores anónimos por sus comentarios pertinentes para mejorar el manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Albert, L.** 1997. *Curso básico de toxicología ambiental*. Editorial Limusa, México. 311pp.
- Acosta, J. A., Faz, A., Martínez-Martínez, S. & Arocena, J. M.** 2011. Enrichment of metals in soils subjected to different land uses in a typical Mediterranean environment (Murcia City, southeast Spain). *Applied Geochemistry*, 26, 405-414.
- Alloway, B. J.** 2013. *Heavy Metals in Soils, Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (3ra Ed.) Reino Unido. 363 pp.
- Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homaei, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M. & Mahvi, A. H.** 2010. Effect of fertilizer application on soil heavy metal contamination. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160, 83-89.
- Antoniadis, V., Robinson, J. & Alloway, B.** 2008. Effects of short-term pH fluctuations on cadmium, nickel, lead, and zinc availability to ryegrass in a sewage sludge-amended field. *Chemosphere*, 71, 759-764.
- Barhoumi, S., Messaoudi, I., Gagné, F. & Kerkeni, A.** 2012. Spatial and seasonal variability of some biomarkers in *Salaria basilisca* (Pisces: Blennidae): Implication for bioimproving in Tunisian coasts. *Ecological Indicators*, 14, 222-228.
- Basta, N.T.** 2004. Heavy metal and trace element chemistry in residual-treated soil: Implications on metal bioavailability and sustainable land application. In: Sustainable land application Conference, January, 4-8, Florida; University of Florida.
- Capó, M.** 2002. *Principios de Ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente*. Mc Graw Hill. Madrid, 314 pp.
- Castro-Luna, A., Sosa, V.J. & Castillo-Campos, G.** 2007. Quantifying phyllostomid bats at different taxonomic levels as ecological indicators in a disturbed tropical forest. *Acta Chiropterologica*, 9, 219-228.
- Clarke, F.M., Pio D.V. & Racey, P.A.** 2005. A comparison of logging systems and bat diversity in the neotropics. *Conservation Biology*, 19, 1194-1204.
- Eckert, R. & Randall, D.** 1990. *Fisiología animal, mecanismos y adaptaciones*. Interamericana Mc Graw-Hill. Madrid, 99 pp.
- Emmons, L. H. & Feer, F.** 1997. *Neotropical rainforest mammals: A field guide*. 2th Ed. The University of Chicago Press, Chicago, 307 pp.
- Espinoza, G.** (2000). Tolerancia a la toxicidad de zinc, cobre y plomo en plantas silvestres asociadas a suelos contaminados por la actividad minera. Tesis para optar al grado de Biólogo. Universidad Nacional Agraria La Molina Lima, Perú.
- Espitia Pérez, L. M., Linares, J. C., Leon Mejía, G., Quintana Sosa, M. & Hartmann, A.** 2007. Genotoxic effects in wild rodents (*Rattus rattus* and *Mus musculus*) in an Open Coal Mining Area, pp. 42-49. In: *Ireland Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. Ed. Elsevier. 630 pp.
- Fenton, M., Acharya, L., Audet, D., Hickey, M., Merriman, C., Obrist, M. K., Syme D. & Adkins, B.** 1992. Phyllostomid bats (Chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruption in the Neotropics. *Biotropica*, 24, 440-446.
- Feria, J., Marrugo, J. L. & Gonzales, H.** 2010. Heavy metals in Sinú River, Department of Córdoba, Colombia, South America. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. Medellín, Colombia, 55, 35-44.
- Gardner, A. L.** 2007. *Mammals of South America. Marsupials, Xenarthrans, Shrews, and Bats*, University of Chicago Press, Chicago, Illinois, and London, United Kingdom, 669 pp.
- Gimeno-García, E., Andreu, V. & Boluda, R.** 1996. Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environmental Pollution*, 92, 19-25.
- Goyer, R. A. & Clarkson, T. W.** 2001. Toxic effects of metals. *Casarett and Doull's Toxicology: The basic Science of Poisons*. (Klassen CD,ed). New York: McGraw Hill, pp. 811-868.
- Gracia, L., Marrugo, J.L. & Alvis, E.M.** 2009. Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 28, 118-124.
- Hayes, J. P. & Loeb, S. C.** 2007. The influences of forest management on bats in North America, pp. 207-235. In: Lacki ML, Hayes JP, Kurta A (Eds.). *Bats in forests: Conservation and management*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Hoenerhoff, M. & Williams, K.** 2004. Copper-associated hepatopathy in a Mexican fruit bat (*Artibeus jamaicensis*) and establish-



- ment of a reference range for hepatic copper in bats. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 16, 590-593.
- Horvat, M.** 2002. Mercury as a global pollutant. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 374, 981-982.
- Hülya, K. A. & Erhan, Ü.** 2007. Heavy metal concentrations in water, sediment, fish and some benthic organisms from Tigris River, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 131, 323-337.
- ICA.** Restricciones, prohibiciones y suspensión de registros de plaguicidas de uso agrícola en Colombia. Resolución 2189 de 1974 del ICA. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/getdoc/b2e5ff99-bd80-45e8-aa7a-e55f0b5b42dc/PLAGUICIDAS-PROHIBIDOS.aspx> [consultado 09 Diciembre 2015].
- INGEOMINAS** 2002. Instituto de Investigación e Información geocientífica, Minero-Ambiental. *Inventario Minero Nacional, Departamento de Córdoba*. Bogotá D.C., 52 pp.
- Jacinto, M. & Aguilar, S.** 2007. Concentraciones traza de metales en especies marinas de la bahía de Huarmey, Ancash, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 14, 307-311.
- Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig M. R. & Racey, P. A.** 2009. Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research*, 8, 93-115.
- Kabata, A. & Pendias, H.** 2000. *Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed.* CRC Press. Boca Raton, Florida, EEUU, 432 pp.
- Kalko, E. K. V., Herr, E. A. & Handely Jr., C. O.** 1996. Relation of fig fruit characteristics to fruit eating bats in the New and Old World Tropics. *Journal of Biogeography*, 23, 565-576.
- Kelepertzis, E.** 2014. Accumulation of heavy metals in agricultural soils of Mediterranean: Insights from Argolida basin, Peloponnese, Greece. *Geoderma*, 221-222, 82-90.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P. & Johnson, G. D.** 2007. Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, hypotheses, and research needs. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5, 315-324.
- LaVal, R. K. & Rodríguez, H. B.** 2002. *Murciélagos de Costa Rica*. Editorial INBio, Heredia, Costa Rica, 320 pp.
- Linares, O. J.** 2000. *Mamíferos de Venezuela*. Sociedad Conservacionista Audubon de Venezuela- SCAV, Caracas, 691 pp.
- Luoma, S. N. & Rainbow P. S.** 2011. *Metal Contamination in Aquatic Environments: Science and Lateral Management*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 573pp.
- Mackay, D. & Fraser, A.** 2000. Bioaccumulation of persistent organic chemicals: mechanisms and models. *Environmental Pollution*, 110, 375-391.
- Maurice-Bourgoin, L., Quiroga, I., Chincheros, J. & Courau, P.** 2000. Mercury distribution in waters and fishes of the Upper Rio Madeira and mercury exposure in riparian Amazonian populations. *Science of the Total Environment*, 260, 73-86.
- McDowell, L.** 1992. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. Academic Press, Inc. Harcourt Brace Jovanovich Publishers, California, 187pp.
- Marrugo-Negrete, J.L., Benítez, L. & Olivero, J.** 2008. 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.
- Marrugo-Negrete, J.L., Benítez, L., Olivero, J., Lans E. & Vásquez, F.** 2010. Spatial and seasonal mercury distribution in the Ayapel Marsh, Mojana region, Colombia. *International Journal of Environmental Health Research*, 20, 451-459.
- Marrugo-Negrete, J.L., Urango, I., Burgos, S. & Díez, S.** (2014). Atmospheric deposition of heavy metals in the mining area of the San Jorge river basin, Colombia. *Air Quality, Atmosphere, and Health*, 7, 577-588.
- Marrugo-Negrete, J. L., Pinedo-Hernández, J & Díez, S.** 2015. Geochemistry of mercury in tropical swamps impacted by gold mining. *Chemosphere*, 134, 44-51.
- Marrugo-Negrete, J. L., Ruiz-Guzmán, J. A. & Díez, S.** 2012. Relationship between mercury levels in hair and fish consumption in a population living near a hydroelectric tropical dam. *Biological Trace Element Research*, 151, 187-194.
- Marrugo-Negrete, J. L., Marrugo-Madrid, S., Pinedo-Hernández, J., Durango-Hernández, J. & Díez Salvador, S.** 2016. Screening of native plant species for phytoremediation potential at a Hg-contaminated mining site Montería, Colombia. *Science of the Total Environment*, 542, 809-816.
- Medellín, R. A., Equihua, M. & Amin, M.** 2000. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in Neotropical rainforests. *Conservation Biology*, 14, 1666-1675.
- Medellín, R. A. & Viquez-R, L. R.** 2014. Los murciélagos como bioindicadores de la perturbación ambiental, pp. 521-542. In: González Zuarth, C., Vallarino, A., Pérez Jimenéz, J. C. & Low Pfeng, A. M., (Eds.). *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. INECC, México.
- Micó, C., Recatalá, L., Peris, M. & Sánchez, J.** 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, 65, 863-872.
- Milton, A. & Johnson, M.** 1999. Biomonitoring of contaminated mine tailings through age accumulation of trace metals in the bank vole (*Clethrionomys glareolus*). *Journal of Environmental Monitoring*, 1, 219-225.
- Moreno, C. E., Sánchez-Rojas, G., Pineda, E. & Escobar, F.** 2007. Shortcuts for biodiversity evaluation: a review of terminology and recommendations for the use of target groups, bioindicators and surrogates. *International Journal of Environmental Health*, 1, 71-86.
- Nicholson, F. A., Smith, S. R., Alloway, B. J., Carlton-Smith, C. & Chambers, B. J.** 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment*, 311, 205-219.
- Ortiz, R.** (1983). Expansión de la frontera agrícola. En: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad, Colombia, 1997. Tomo III. Santafé de Bogotá.
- O'Shea, T. J., Everette, A. L. & Ellison, L. E.** 2001. Cyclodiene insecticide, DDE, DDT, arsenic, and mercury contamination of big Brown bats (*Eptesicus fuscus*) foraging at a Colorado superfund site. *Environmental Contamination and Toxicology*, 40, 112-120.
- Páez-Osuna, F., Calderón-Campuzano, M. F., Soto-Jiménez, M. F. & Ruelas-Inzunza, J. R.** 2010. Lead in blood and eggs of the sea turtle, *Lepidochelys olivacea*, from the Eastern Pacific: Concentration, isotopic composition and maternal transfer. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 433-439.
- Pérez, M., Cid, F., Hernández, D. & Oropesa, A. L.** 2005. Contenido de metales pesados en hígado y plumas de aves marinas afecta-

- das por el accidente del “Prestige” en la costa de Galicia. *Revista de Toxicología*, 22, 191-199.
- Primack, R.** 2002. *Introducción a la Biología de la conservación*. Ed. Ariel Ciencia. Barcelona.
- Prohaska, J. & Gybina, A.** 2004. Intracellular copper transport in mammals. *The Journal of Nutrition*, 134, 1003-1006.
- Quang Le, D., Nguyen, D. C., Harino, H., Kakutani, N., Chino, N. & Arai, T.** (¿2010. Distribution of trace metals and methylmercury in soft tissues of the freshwater eel *Anguilla marmorata* in Vietnam. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 59, 282-290.
- Racero-Casarrubia, J. A., Marrugo-Negrete, J. L. & Pinedo-Hernández, J. J.** 2012. Hallazgo de mercurio en piezas dentales de Jaguares (*Panthera onca*) provenientes de la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Paramillo, Córdoba, Colombia. *Revista Latinoamericana de Conservación*, 2, 87-92.
- Riechman, S.M.** 2002. *The responses of plants to metals toxicity: A review focusing on copper, manganese and zinc*. The Australian Minerals and Energy Environment Foundation, Melbourne, 54 pp.
- Sadiq, M., Zaidi, T. & Al-Mohana, M.** (1991. Sample weight and digestion temperature as critical factors in mercury determination in fish. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 47, 335-341.
- Silveira, M., Alleoni, L. & Guilherme, L.** 2003. Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola*, 60, 793-806.
- Soriano, P. J.** 1983. La comunidad de quirópteros de las selvas nubladas de Mérida. Patrón reproductivo de los frugívoros y estrategias fenológicas de las plantas. Tesis Magister Scientiae, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, 113 pp.
- Stork, N. & Sherman, K.** 1995. *Inventing and monitoring. Global biodiversity assessment, 1st edition*. United Nations Environmental Programme, Cambridge.
- Sun, C., Liu, J., Wang, Y., Sun, L. & Yu, H.** 2013. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and sources of heavy metals in agricultural soil in Dehui, Northeast China. *Chemosphere*, 92, 517-523.
- Vela, I. M.** 2013. Variaciones en la fenología reproductiva de las especies de murciélagos en dos sistemas ganaderos: efecto de la disponibilidad de recursos. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias, Maestría en Ciencias Biológicas. Tesis de maestría. Bogotá D.C. 89 pp.
- Walker, L., Simpson, V., Rockett, L., Wienburg, C. & Shore, R.** 2007. Heavy metal contamination in bats in Britain. *Environmental Pollution*, 148, 483-490.
- Weber, P., Behr E. R., De Lellis C., Vendruscolo S., Flores E. M. M., Dressler V. L. & Baldisserotto B.** 2013. Metals in the water, sediment, and tissues of two fish species from different trophic levels in a subtropical Brazilian river. *Microchemical Journal*, 106, 61-66.
- Williams, M., Ramos, D., Butrón, S., Gonzales-Zúñiga, N., Ortiz, N. & La Torre, B.** 2010. Concentraciones de metales pesados en murciélagos del lodge “Cock of the Rocks” y alrededores, Kosñipata, Cuzco, Perú. *Ecología Aplicada*, 9, 133-139.
- Wilson, D. E. & Reeder, D. M.** 2005. *Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference*. (3rd ed). Johns Hopkins University Press. 2142 pp.
- World Health Organization.** 2007. *Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution*. WHO, Copenhagen, Dinamarca, 129 pp.
- Wright, D. & Welbourn, P.** 2002. *Environmental Toxicology*. Cambridge University Press. Cambridge, 629 pp.
- Yates, E., Adams E., Angelo, S. E., Evers, D., Schmerfeld, J., Moore, M., Kunz, T H., Divoll, T., Edmonds, S., Perkins, C., Taylor, R & O’Driscoll, N.** 2014. Mercury in bats from the northeastern United States. *Ecotoxicology*, 23, 45-55.