

2018-07-01

Concentraciones basales de plomo en sangre de catártidos en cautiverio

Jessica Paola Mateus-Anzola

Universidad de La Salle, Bogotá, jmateus39@unisalle.edu.co

Leonardo Arias-Bernal

Universidad de La Salle, Bogotá, larias@parquejaimeduque.com.co

Billy Armando Vargas-Melo

Universidad Nacional de Colombia, vargastox@yahoo.com

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/mv>

Citación recomendada

Mateus-Anzola JP, Arias-Bernal L y Vargas-Melo BA. Concentraciones basales de plomo en sangre de catártidos en cautiverio. Rev Med Vet. 2018;(37): 57-63. doi: <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss37.7>

This Artículo de Investigación is brought to you for free and open access by the Revistas científicas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Revista de Medicina Veterinaria by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

Concentraciones basales de plomo en sangre de catártidos en cautiverio

Jessica Paola Mateus-Anzola¹ / Leonardo Arias-Bernal² / Billy Armando Vargas-Melo³

Resumen

El plomo es uno de los metales pesados más tóxicos para los seres vivos, lo cual constituye una problemática a escala global. Este metal se encuentra de manera natural en el medio ambiente. Puede permanecer por largos periodos en tejidos animales y producir alteraciones fisiológicas, comportamentales e incluso la muerte. Uno de los grupos taxonómicos más afectados son las aves, especialmente aquellas especies que se encuentran en la parte superior de la red trófica, debido a su susceptibilidad a la bioacumulación de metales pesados. Sin embargo, en Suramérica existe escasa información sobre la exposición de plomo en catártidos. El objetivo de esta investigación fue determinar concentraciones basales de plomo en catártidos mantenidos en condiciones de cautiverio en Colombia. Para ello se analizaron muestras sanguíneas de 9 reyes gallinazos (*Sarcoramphus papa*) y 7 cóndores de los Andes (*Vultur gryphus*) de tres zoológicos por medio de espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados sugieren que 15 de 16 ejemplares contienen concentraciones de plomo. El zoológico B tuvo el mayor promedio ($2,65 \pm 1,00 \mu\text{g/dL}$), seguido del zoológico C ($1,87 \pm 0,63 \mu\text{g/dL}$) y del zoológico A ($0,8 \pm 0,89 \mu\text{g/dL}$). El promedio para *S. papa* fue de $2,11 \pm 0,42 \mu\text{g/dL}$, mientras que el de *V. gryphus* fue de $1,89 \pm 1,52 \mu\text{g/dL}$. Se concluye que aunque existe una diferencia significativa ($p = 0,01$) entre los zoológicos muestreados y se detectaron concentraciones de plomo en el 93,75 % de la población, estas son bajas comparadas con las reportadas por los estudios.

Palabras clave: aves, espectrofotometría, metal pesado, toxicología.

Basal concentrations of lead in the blood of birds from the New World vulture (*Cathartidae*) family in captivity

Abstract

Lead is one of the most toxic heavy metals for living beings, which is a problem on a global scale. This metal is found naturally in the environment. It can remain for long periods in animal tissues, and produce physiological and behavioral alterations, even death. One of the most affected taxonomic groups are birds, especially those species that are at the top of the food chain, due to their susceptibility to the bioaccumulation of heavy metals. However, in South America, there is little information on lead exposure in birds from the New World vulture (*Cathartidae*) family. This research aimed to determine basal concentration levels of lead in birds from the *Cathartidae* family kept in captivity conditions in Colombia. To the effect, blood samples of nine king vultures (*Sarcoramphus papa*) and seven Andean condors (*Vultur gryphus*) were analyzed from three zoos using atomic absorption spectrophotometry. The results suggest that 15 out of 16 specimens contain blood lead concentrations. Zoo B had the highest average ($2.65 \pm 1.00 \mu\text{g/dL}$), followed by Zoo C ($1.87 \pm 0.63 \mu\text{g/dL}$), and zoo A ($0.8 \pm 0.89 \mu\text{g/dL}$). The average for

- 1 Médica veterinaria, MSc. Universidad de La Salle, Colombia.
✉ jmateus39@unisalle.edu.co
- 2 Médico veterinario. MSc. Docente Universidad de la Salle. Director del Bioparque Wakatá.
✉ larias@parquejaimeduque.com.co
- 3 Químico farmacéutico, MSc. Profesor asociado a la Facultad de Medicina. Universidad Nacional de Colombia.
✉ vargastox@yahoo.com

Cómo citar este artículo: Mateus-Anzola JP, Arias-Bernal L, Vargas-Melo BA. Concentraciones basales de plomo en sangre de catártidos en cautiverio. Rev Med Vet. 2018;(37):57-63. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss37.7>

S. papa was $2.11 \pm 0.42 \mu\text{g/dL}$, while for *V. gryphus* it was $1.89 \pm 1.52 \mu\text{g/dL}$. It is concluded that although there is a significant difference ($p = 0.01$) among the sampled zoos, and lead concentrations were detected in 93.75% of the population, these are low compared to levels reported by other studies.

Keywords: birds, spectrophotometry, heavy metal, toxicology.

Concentrações basais de chumbo em sangue de catárticos em cativeiro

Resumo

O chumbo é um dos metais pesados mais tóxicos para os seres vivos, o qual constitui uma problemática na escala global. Este metal se encontra naturalmente no meio ambiente. Pode permanecer por longos períodos em tecidos animais e produzir alterações fisiológicas, comportamentais e inclusive a morte. Um dos grupos taxonômicos mais afetados são as aves, especialmente aquelas espécies que se encontram na parte superior da cadeia alimentícia, devido a sua suscetibilidade à bioacumulação de metais pesados. No entanto, na América do Sul existe escassa informação sobre a exposição de chumbo em catárticos. O objetivo desta investigação foi determinar concentrações basais de chumbo em catárticos mantidos em condições de cativeiro na Colômbia. Para isso foram analisadas amostras sanguíneas de 9 *urubus reis* (*Sarcoramphus papa*) e 7 condores dos Andes (*Vultur gryphus*) de três zoológicos por média de espectrofotometria de absorção atômica. Os resultados sugerem que 15 de 16 exemplares contém concentrações de chumbo. O zoológico B teve a maior média ($2,65 \pm 1,00 \mu\text{g/dL}$), seguida do zoológico C ($1,87 \pm 0,63 \mu\text{g/dL}$) e do zoológico A ($0,8 \pm 0,89 \mu\text{g/dL}$). A média para *S. papa* foi de $2,11 \pm 0,42 \mu\text{g/dL}$, enquanto que o de *V. gryphus* foi de $1,89 \pm 1,52 \mu\text{g/dL}$. Se conclui que ainda existe uma diferença significativa ($p = 0,01$) entre os zoológicos amostrados e se detectaram concentrações de chumbo no 93,75 % da população, estas são baixas comparadas com as relatadas pelos estudos.

Palavras-chave: aves, espectrofotometria, metal pesado, toxicologia.

INTRODUCCIÓN

El plomo (Pb) es un metal pesado altamente tóxico para los seres vivos (1). La intoxicación aguda o crónica por plomo es considerada una de las principales causas de muerte en aves silvestres, tanto acuáticas como terrestres, principalmente por la ingestión de municiones de plomo o presas con fragmentos de balas (2,3). Así mismo, la exposición crónica produce efectos negativos en el crecimiento, el comportamiento, el éxito reproduc-

tivo, el sistema inmune y otras funciones fisiológicas como la biosíntesis de hemoglobina (4,5). Este contaminante es liberado al ambiente sobre todo por la cacería, aunque también la actividad minera e industrial, así como el uso de aguas residuales en agricultura son consideradas como fuentes relevantes (6).

Existen diferentes aproximaciones para determinar los niveles de exposición en individuos, desde análisis de tejidos blandos o huesos debido a su bioacumulación,

así como estrategias menos invasivas mediante plumas, excrementos y muestras sanguíneas (7).

Los catártidos, debido a su posición en la red trófica y longevidad, están en riesgo de acumulación de metales pesados en sus tejidos, ya que funcionan como bioindicadores de la contaminación ambiental (4,8). Tanto aves de vida libre como en cautiverio están en riesgo de la intoxicación con plomo, pues se reporta toxicosis en especies como el águila calva (*Haliaeetus leucocephalus*) (9), el pigargo europeo (*Haliaeetus albicilla*) (10), el cóndor californiano (*Gymnogyps californianus*) (11,12), el buitre leonado (*Gyps fulvus*) (1,13), el águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) (14), el buitre negro americano (*Coragyps atratus*) (15), entre otras.

En animales en cautiverio como los buitres negros (*Aegypius monachus*) y los buitres egipcios (*Neophron percnopterus*) se ha documentado exposición accidental a contaminación por plomo con detritos de pintura con tetróxido de plomo en el suelo (5). De igual manera, se ha reportado intoxicación en hubaras de MacQueen (*Chlamydotis macqueenii*) en una granja privada de Emiratos Árabes, los cuales ingirieron restos de pintura de postes metálicos (5); en el Milano Real (*Milvus milvus*) después de la ingestión de presas con fragmentos de balas (16), y en el cóndor de los Andes (*Vultur gryphus*), especie “casi amenazada” según la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (17), mediante un estudio experimental se demostró su sensibilidad a la intoxicación con plomo y baja probabilidad de supervivencia (18).

En Suramérica existen escasos estudios (15). En Argentina se reportaron los primeros datos de referencia de la concentración de plomo en cóndor de los Andes en el contexto local mediante medición en plumas en 2011 (19). Sin embargo, se desconoce la exposición a plomo de catártidos en cautiverio. Por este motivo, el objetivo del presente estudio fue determinar las concentraciones basales de plomo de muestras sanguíneas de *Sarcorampus papa* (reyes gallinazos) y *Vultur gryphus* (cóndor de los Andes) mantenidos en instituciones zoológicas de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Población de estudio

Se muestrearon un total de 16 ejemplares de 3 zoológicos ubicados en: Medellín (Antioquia), Tocancipá (Cundinamarca) y Cali (Valle del Cauca), de los cuales 4 ejemplares fueron del zoológico A, 8 del zoológico B y 4 del zoológico C, que corresponden a 9 reyes gallinazos (*S. papa*) y 7 cóndores de los Andes (*V. gryphus*).

Se desconoce el origen y la edad de todos los ejemplares del zoológico A. En el zoológico B dos reyes gallinazos de 26 y 27 años fueron donados durante 1991-1992, pero no se menciona la entidad de donación en la historia clínica. Otro de 22 años fue donado en 1994 por la Sociedad Mundial para la Protección de los Animales, y el último, de 8 años, fue trasladado por la Secretaría Distrital de Ambiente sin conocimiento de su lugar de nacimiento. Igualmente, se desconoce la edad y el origen de los 4 cóndores de los Andes de esta institución zoológica.

Los 4 ejemplares del zoológico C nacieron en cautiverio; dos reyes gallinazos de 35 años nacieron en el zoológico B y fueron trasladados en 1979; un cóndor de los Andes de 37 años nació en el Bronx Zoo Wildlife Conservation Society, fue trasladado al zoológico de San Diego (SD-WAP) y llegó a Cali en 1990. El otro cóndor de 34 años nació en el Patuxent Wildlife Research Center, fue trasladado al zoológico de San Diego (SD-WAP) y llegó a Cali en 1990.

Fase de campo

Se realizó una restricción física según lo reportado por Fowler (20), primero, mediante el uso de 3 o 4 nasas del tamaño apropiado para cada ave y, luego, manualmente, cubriendo el cuerpo y la cabeza del ejemplar, para lo que se requirieron mínimo 2 personas por cada animal, una para el sostenimiento de la cabeza y la otra para el sostenimiento del cuerpo y las extremidades. Posterior a ello se realizó la toma de muestras sanguíneas de la vena

metatarsiana medial utilizando jeringas con agujas calibre 21 o 23; se depositaron 4 ml de sangre en tubos Vacutainer con anticoagulante EDTA para medición de plomo.

Fase de laboratorio

Las muestras refrigeradas fueron transportadas al laboratorio de toxicología para la medición de plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica por horno de grafito. Esta se basó en la utilización de altas temperaturas (2000-3000 °C) para evaporar y atomizar el analito (plomo). Se usó una longitud de onda de 283,3 nm y se evaluó el nivel de absorbancia, el cual es directamente proporcional a la cantidad de analito presente en la muestra.

Análisis de resultados

Se realizó prueba de normalidad de Shapiro-Wilk mediante el software XLSTAT-Excel. Se analizaron los resultados obtenidos comparando los 3 zoológicos (A, B y C) y las especies (*S. papa* y *V. gryphus*) por medio de cálculos estadísticos como media aritmética, máximos, mínimos, desviación estándar y análisis de varianza (Anova).

RESULTADOS

Mediante la prueba de espectrofotometría de absorción atómica por horno de grafito se detectaron concentra-

ciones de plomo en 2 *S. papa* y 1 *V. gryphus* del zoológico A, en los 4 *S. papa* y los 4 *V. gryphus* del zoológico B y en los 2 *S. papa* y 2 *V. gryphus* del zoológico C. Los datos tuvieron una distribución normal según el Test de Shapiro-Wilk ($p = 0,655$, $\alpha = 0,05$) (figura 1).

En el zoológico A se obtuvo un promedio de plomo de $0,8 \pm 0,89 \mu\text{g/dL}$; en el B fue de $2,65 \pm 1,00 \mu\text{g/dL}$, y en el C, de $1,87 \pm 0,63 \mu\text{g/dL}$ (tabla 1).

Además de ello, por especie se obtuvo un promedio de $2,11 \pm 0,42 \mu\text{g/dL}$ en *S. papa* y $1,89 \pm 1,52 \mu\text{g/dL}$ en *V. gryphus* (tabla 2).

Figura 1. Q-Q de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

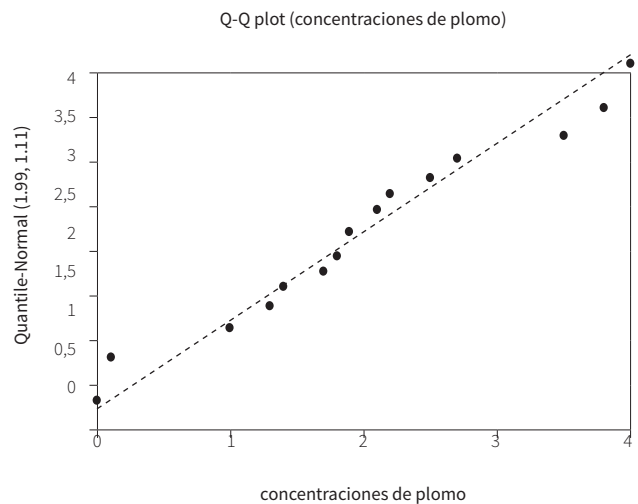


Tabla 1. Valores máximos, mínimos, promedio (media), desviación estándar y análisis de varianza (Anova) del plomo sanguíneo ($\mu\text{g/dL}$) de catártidos por zoológico

Zoológico	n	Mínimos	Máximos	Media	Desviación estándar
A	4	0	1,8	0,8	0,89
B	8	1,4	4	2,65	1,00
C	4	1	2,5	1,87	0,63

*p: 0,01.

Tabla 2. Valores máximos, mínimos, promedio (media), desviación estándar y análisis de varianza (Anova) del plomo sanguíneo ($\mu\text{g}/\text{dL}$) hallado según la especie

Especie	n	Mínimos	Máximos	Media	Desviación estándar
<i>S. papa</i>	9	0,00	4,0	2,11	0,42
<i>V. gryphus</i>	7	1,30	2,50	1,84	1,52

*p: 0,84.

DISCUSIÓN

Existe una gran variedad de especies de aves, lo que dificulta definir valores con base en los cuales se considere una intoxicación por metales pesados. Sin embargo, el conocimiento de las concentraciones basales de plomo en sangre es de gran relevancia al evaluar el riesgo de exposición en poblaciones silvestres y la incidencia de esta toxicosis en catártidos de Colombia (7).

Estudios experimentales han sido realizados en el buitre americano cabecirojo (*Cathartes aura*), especie relativamente tolerante a la contaminación por plomo (21), y en el cóndor de los Andes (*Vultur gryphus*), que es muy susceptible a la intoxicación con este metal pesado (18). Así mismo, se han realizado estudios observacionales en poblaciones de buitre negro americano (*Coragyps atratus*) en cercanía a plantas de sacrificio de Venezuela (15). Sin embargo, los datos basales de plomo en catártidos de Suramérica son escasos (19). Por lo tanto, este estudio brinda los primeros niveles de referencia de plomo en sangre de catártidos mantenidos en cautiverio en Colombia.

Una herramienta apropiada para evaluar la acumulación de plomo han sido las muestras sanguíneas (7). Esta medida representa las concentraciones circulantes del plomo ingerido o liberado de tejidos de almacenamiento. Sin embargo, mediante esta metodología no se puede diferenciar entre una exposición aguda o crónica, debido a que existe un continuo movimiento intercompartimental de plomo entre sangre, tejidos blandos y huesos, por lo cual este metal llega a tener una vida media de 28-30 días, 40 días y hasta más de 30 años, respectivamente (22).

En el estudio el mayor valor detectado fue $4 \mu\text{g}/\text{dL}$ en un rey gallinazo (*S. papa*) del zoológico B, que es un valor muy bajo comparado con el umbral establecido por Franson en 1996, ya que menciona el valor $20 \mu\text{g}/\text{dL}$ como el mínimo necesario para considerar efectos fisiológicos (23,24). Sin embargo, Espín et al. (25) reportan que la enzima ácido delta-aminolevulínico deshidratasa (ALA-D), una enzima esencial en la biosíntesis del grupo heme, así como uno de los más sensibles y específicos biomarcadores de baja exposición a plomo, se ve inhibida en más del 15 % con concentraciones mayores a $10 \mu\text{g}/\text{dL}$ en el buitre leonado (*Gyps fulvus*) y en 10 % con concentraciones de plomo $> 1 \mu\text{g}/\text{dL}$ en el búho real (*Bubo bubo*).

En cuanto al promedio por institución zoológica, el mayor promedio lo obtuvo el zoológico B con $2,65 \pm 1,00 \mu\text{g}/\text{dL}$, lo que muestra diferencias significativas de las concentraciones de este metal pesado entre los 3 zoológicos muestreados ($p = 0,01$), mientras que no se evidenciaron diferencias significativas entre especies ($p = 0,84$). En Argentina se hallaron concentraciones igualmente bajas en cóndores en cautiverio, con un promedio de $5,63 \pm 3,08 \mu\text{g}/\text{dL}$ y un rango de $0,02$ a $9,20 \mu\text{g}/\text{dL}$ (24).

No obstante, en la intoxicación por plomo intervienen tres factores: estatus nutricional, predisposición genética y disponibilidad de plomo. La ingestión es la vía primaria de contaminación (18). Sin embargo, la absorción se ve influenciada por la edad del animal, las reservas de hierro, el ambiente químico del lumen y los componentes en la dieta como citrato de sodio y vitamina D, los cuales incrementan su absorción y solubilidad.

De igual manera, la ingesta total de alimento, el porcentaje graso de la dieta y la ingesta de calcio, hierro, zinc, lactosa y vitamina E modifican la susceptibilidad (18). Por lo tanto, una limitante de esta investigación fue la falta de información acerca de la dieta de los ejemplares y sus diferencias entre las colecciones zoológicas.

CONCLUSIONES

El plomo es una amenaza seria para la salud y sostenibilidad de aves silvestres, especialmente para especies longevas. Aunque se detectaron concentraciones de plomo en 15 de 16 ejemplares (93,75 % de la población), estas son bajas comparadas con las reportadas en los estudios. Por tal motivo, *V. gryphus* y *S. papa* de las 3 instituciones zoológicas no están expuestos a cantidades significativas de plomo. Sin embargo, este estudio brinda concentraciones de referencia en catártidos en cautiverio para tener en cuenta en posteriores estudios de exposición al plomo en aves de vida libre. Así mismo, se destaca la importancia de indagar sobre la fuente de las concentraciones halladas y si existen diferencias en dieta o manejo que influyeran en las diferencias significativas presentadas entre los zoológicos muestreados.

AGRADECIMIENTOS

Al bioparque Wakatá-Parque Jaime Duque, por la financiación del proyecto y la colaboración en el muestreo de los animales, así como al Parque Zoológico Santa Fe y el Zoológico de Cali, por el apoyo en la toma de muestras, y al laboratorio Vargas Melo, por la ayuda en el procesamiento de las muestras.

REFERENCIAS

- González F, López I, Suárez L, Moraleda V, Rodríguez C. Levels of blood lead in Griffon vultures from a Wildlife Rehabilitation Center in Spain. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2017;143:143-50.
- Johnson CK, Kelly TR, Rideout BA. Lead in ammunition: a persistent threat to health and conservation. *EcoHealth.* 2013;10(4):455-64.
- Hernández M, Margalida A. Assessing the risk of lead exposure for the conservation of the endangered Pyrenean bearded vulture (*Gypaetus barbatus*) population. *Environ Res.* 2009;109(7):837-42.
- Carneiro M, Colaço B, Brandão R, Azorín B, Nicolas O, Colaço J, et al. Assessment of the exposure to heavy metals in Griffon vultures (*Gyps fulvus*) from the Iberian Peninsula. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2015;113:295-301.
- Pikula J, Hajkova P, Bandouchova H, Bednarova I, Adam V, Beklova M, et al. Lead toxicosis of captive vultures: case description and responses to chelation therapy. *BMC Vet Res.* 2013;9(1):11-20.
- Fisher IJ, Pain DJ, Thomas VG. A review of lead poisoning from ammunition sources in terrestrial birds. *Biol Conserv.* 2006;131(3):421-32.
- Berglund ÅMM. Evaluating blood and excrement as bioindicators for metal accumulation in birds. *Environ Pollut [internet].* 2018 [citado 2017 nov. 20];233:1198-206. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749117306036>
- Ochoa E. Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *CES Salud Pública.* 2014;5(1):59-69.
- Warner SE, Britton EE, Becker DN, Coffey MJ. Bald eagle lead exposure in the Upper Midwest. *J Fish Wildl Manag.* 2014;5(2):208-16.
- Helander B, Axelsson J, Borg H, Holm K, Bignert A. Ingestion of lead from ammunition and lead concentrations in white-tailed sea eagles (*Haliaeetus albicilla*) in Sweden. *Sci Total Environ.* 2009;407(21):5555-63.
- Cade TJ. Exposure of California condors to lead from spent ammunition. *J Wildl Manag.* 2007;71(7):2125-34.
- Hunt WG, Parish CN, Orr K, Aguilar RF. Lead poisoning and the reintroduction of the California condor in Northern Arizona. *J Avian Med Surg.* 2009;23(2):145-50.
- García-Fernández AJ, Martínez-López E, Romero D, María-Mojica P, Godino A, Jiménez P. High levels of blood lead in griffon vultures (*Gyps fulvus*) from Cazorla natural park (southern Spain). *Environ Toxicol.* 2005;20(4):459-63.

14. Pain DJ, Meharg AA, Ferrer M, Taggart M, Penteriani V. Lead concentrations in bones and feathers of the globally threatened Spanish imperial eagle. *Biol Conserv.* 2005;121(4):603-10.
15. Bravo A, Colina M, Azuero S, Salas-A R. Heavy metal levels in plasma and fecal material samples of the Black Vulture (*Coragyps atratus*). *Rev Cient FCV-LUZ.* 2005;15(4):319-25.
16. Pain DJ, Carter I, Sainsbury AW, Shore RF, Eden P, Taggart MA, et al. Lead contamination and associated disease in captive and reintroduced red kites *Milvus milvus* in England. *Sci Total Environ.* 2007;376(1-3):116-27.
17. BirdLife International. *Vultur gryphus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T22697641A93626700. 2016. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22697641A93626700.en>.
18. Pattee OH, Carpenter JW, Fritts SH, Rattner BA, Wiemeyer SN, Royle JA, et al. Lead poisoning in captive Andean condors (*Vultur gryphus*). *J Wildl Dis.* 2006;42(4):772-9.
19. Lambertucci SA, Donázar JA, Huertas AD, Jiménez B, Sáez M, Sanchez-Zapata JA, et al. Widening the problem of lead poisoning to a South-American top scavenger: lead concentrations in feathers of wild Andean condors. *Biol Conserv.* 2011;144(5):1464-71.
20. Fowler M. Birds raptors. En: *Restraint and handling of wild and domestic animals.* 3a. ed. Wiley-Blackwell; 2008.
21. Carpenter JW, Pattee OH, Fritts SH, Rattner BA, Wiemeyer SN, Royle JA, et al. Experimental lead poisoning un Turkey Vultures (*Cathartes aura*). *J Wildl Dis.* 2003;39(1):96-104.
22. Barbosa F, Tanus-Santos JE, Gerlach RF, Parsons PJ. A critical review of biomarkers used for monitoring human exposure to lead: advantages, limitations, and future needs. *Environ Health Perspect.* 2005;113(12):1669-74.
23. Franson J. Interpretation of tissue lead residues in birds other than waterfowl. En: Beyer WN, Heinz GH, Redmon-Norwood AW, editores. *Environmental contaminants in wildlife. Interpreting tissue concentrations.* Boca Ratón, FL: CRC Press; 1996. p. 265-79.
24. Wiemeyer GM, Pérez MA, Torres Bianchini L, Sampietro L, Bravo GF, Jácome NL, et al. Repeated conservation threats across the Americas: high levels of blood and bone lead in the Andean condor widen the problem to a continental scale. *Environ Pollut.* 2017;220(Pt. A):672-9.
25. Espín S, Martínez-López E, Jiménez P, María-Mojica P, García-Fernández AJ. Delta-aminolevulinic acid dehydratase (δ ALAD) activity in four free-living bird species exposed to different levels of lead under natural conditions. *Environ Res.* 2015;137:185-98.