

Efectos ecotoxicológicos del plomo (Pb) sobre la familia Anatidae: Una revisión sistemática

Ecotoxicological effects of lead (Pb) on the familia Anatidae: A systematic review

Recibido: mayo 01 de 2024 | Revisado: mayo 17 de 2024 | Aceptado: junio 02 de 2024

DIEGO BOCANEGRA OLAVARRIA¹
CONNIE CESPEDES CACERES¹
KARLA FERNÁNDEZ SÁNCHEZ¹
RONALDO GALDO LAVADO¹
WILBER TICUÑA BLAS¹
JOSÉ IANNAcone^{1,2}

RESUMEN

Dentro de las aves silvestres acuáticas, la familia Anatidae es considerada como un conveniente indicador de contaminación por plomo (Pb), debido a su exposición a este metal en aguas continentales contaminadas. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos tóxicos del Pb en las especies de la familia Anatidae. Estas especies se han expuesto al metal pesado por actividades como la caza, generando la principal causa de exposición, la ingesta de los perdigones de Pb, ya sea de manera directa o a través de su dieta, que dicha actividad utiliza. El Pb, en las especies de esta familia, suele bioacumularse más que todo en el hígado, riñones y huesos. Asimismo, la contaminación por dicho metal, tiene como principales consecuencias, la alteración del sistema inmunológico, disminución de la probabilidad de supervivencia y daño en el sistema nervioso central.

Palabras clave: Anatidae, plomo, contaminación, efectos

ABSTRACT

Among wild aquatic birds, the family Anatidae is considered a convenient indicator of lead (Pb) contamination due to its exposure to this metal in contaminated inland waters. The objective of this study was to determine the toxic effects of Pb on species of the family Anatidae. These species have been exposed to the heavy metal through activities such as hunting, generating the main cause of exposure, the ingestion of Pb pellets, either directly or through their diet, which this activity uses. Pb, in species of this family, tends to bioaccumulate mainly in the liver, kidneys and bones. Likewise, the main consequences of contamination by this metal are the alteration of the immune system, a decrease in the probability of survival and damage to the central nervous system.

Keywords: Anatidae, lead, contamination, effects

- 1 Universidad Científicadel Sur. Lima - Perú
2 Universidad Nacional Federico Villarreal.
Lima - Perú

Autor de correspondencia:
joseiannacon@gmail.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

Introducción

El plomo (Pb) es uno de los metales pesados más abundantes, de forma natural, en la corteza terrestre; sin embargo, hoy en día, también se encuentra en el agua y aire, puesto que es una de las toxinas con mayor generalización en el mundo y uno de los primeros en extraer por el hombre para su manejo (García & Navarrete, 2022; Franco, 2020). A nivel mundial, el Pb ha demostrado ser un metal altamente tóxico para el medio ambiente, por los efectos nocivos sobre el suelo y recursos hídrico; asimismo, también ha mostrado repercusiones en la salud de las personas, la flora y fauna de muchos ecosistemas cercanos a minas, fundiciones y puertos de descarga de concentrado de metales pesados, lugares de donde generalmente proviene este metal (Berger et al., 2019; Christou et al., 2022; Kumar et al., 2020; Schupp et al., 2020). Debido al incremento en la producción y el consumo de plomo, la exposición y contaminación por el mismo ha aumentado; tanto es así que estudios han mostrado que en gran parte de los alimentos producidos por la agricultura se puede encontrar a este metal, ello debido al agua de riego contaminada y fertilizantes de la industria agropecuaria (Salas et al., 2019; Agencia de Protección Ambiental, [EPA], 2022). Siendo preciso mencionar que hasta la actualidad no se ha presentado una concentración de Pb en la cual no se observan riesgos para la salud y el ambiente (Organización Panamericana de Salud, [OPS], 2020).

Respecto a la fauna afecta por el plomo, diversas especies de aves a nivel mundial resultan ser fuertemente afectadas, debido a la alta toxicidad que posee, la cual ocasiona que cada año mueran millones; tan solo en EE.UU. la muerte de tres millones

de estos individuos aproximadamente, siendo, la contaminación ocasionada por las actividades pesqueras, mineras, industriales y de caza, las principales fuentes que afectan a las poblaciones de aves (Plaza et al., 2018; Plaza & Lambertucci, 2019). Las vías de exposición de este contaminante para las aves son la inhalación y la ingestión, esta última es considerada la principal debido a la dieta de las aves, ya sean granívoras, carnívoras, geófagas u otras; además, cabe resaltar, que el Pb se caracteriza por ser bioacumulable, lo cual le permite ser almacenado sus cuerpos por un largo tiempo (Bassi et al., 2021; Sriram et al., 2022). Dentro de su organismo, el impacto en la salud de esta especie es variado, ocasionando efectos letales (muerte) y no letales (inhibición de movimientos) en función de la dosis de exposición, los cuales se observan desde cambios hematológicos sutiles, hasta alteraciones en el sistema nervioso (Sato et al., 2022; Lohr et al., 2020). En base a ello, las aves pueden ser consideradas como valiosos bioindicadores con respecto a la contaminación por Pb, debido a su sensibilidad frente a los cambios ambientales; asimismo, pueden ser utilizadas también como un sistema de advertencia de peligro potencial para la salud humana y la vida silvestre, ya que este metal representa una gran amenaza para varias especies de interés para la conservación (Durkalec et al., 2022; Monclús et al., 2020; Sriram et al., 2022).

La familia Anatidae es un grupo de aves acuáticas (como gansos, patos o cisnes) que dependen, por lo menos una parte de su ciclo anual, de los cuerpos de agua que puedan sustentar grandes grupos de estas aves (Miyabayashi & Mundkur, 1999). La mayoría de estas aves migran estacionalmente, evitando condiciones

climáticas invernales, con el fin de aprovechar alimentos y llevar a cabo su ciclo reproductivo en otras áreas durante las estaciones de primavera o verano (Alerstam et al., 2003). Debido a que estas aves suelen viajar largas distancias y la alimentación de cada individuo, la cual suele ser mucho mayor a la de animales terrestres, es que han encontrado diversos contaminantes en varias de las especies, siendo el plomo (Pb) el de mayor presencia; es por ello, que esta familia se convierte en un conveniente indicador de contaminación por Pb, principalmente para aguas continentales (Korbecki et al., 2019). Diversos estudios han encontrado plomo en muchas especies, como es el caso de los ánades reales, los cuales fueron evaluados en diversas zonas de Asia como en Izumi, noroeste de Irán y el Mar Caspio, encontrando concentraciones de este contaminante en el hígado (Nam et al., 2005; Mansouri & Majnoni, 2014; Sinka-Karimi et al., 2015). Por otro lado, también se halló plomo en las plumas, como es el caso de los gansos de frente blanca y patos de pico manchado (Kim & Oh, 2014). Las plumas están compuestas por proteínas altas en queratina, la cual cuenta con afinidad a los metales pesados, como el plomo (Lodenius & Solonen, 2013).

Torimoto et al. (2021) revelaron el comportamiento y el efecto tóxico del Pb causado por la ingestión de inyecciones de Pb en aves acuáticas, siendo una de las especies importantes del estudio, el pato muscovy (*Cairina moschata*). Para llevar a cabo esta investigación se realizaron experimentos en siete patos, donde cuatro de ellos estuvieron expuestos al plomo, recibiendo tres gránulos del metal ($240 \pm 1,7$ mg) y luego de 30 días todos fueron sacrificados con pentobarbital sódico. Tras

ello, se realizaron análisis cuantitativos de plomo por ICP-MS, de sangre, muestras de tejido e histopatológico. Finalmente, el estudio concluyó que los patos acumularon Pb de forma difusa en el hígado, la corteza renal y el cerebro; asimismo, se determinó que el Pb se acumuló de manera restringida a la pulpa roja del bazo.

Korbecki et al. (2019), evaluaron y compararon las concentraciones de plomo (Pb) en varios órganos de aves acuáticas de distintos lugares, principalmente en patos, gansos y cisnes (Anatidae), garzas y garcetas (Ardeidae), charranes (Sternidae) y gaviotas (Laridae). Para llevar a cabo esta investigación, realizaron un proceso de recolección de información en la plataforma PubMed, entre los años 1998–2018. A partir de ello, se concluyó que el plomo se encuentra presente en niveles variables en el medio ambiente en todo el hemisferio norte, siendo China y Corea los países con mayor problema de contaminación en cuanto a este metal, seguidos de países europeos como España, Francia e Italia, y finalmente están EE. UU. y Canadá, resultando estos dos últimos como los lugares donde las aves acuáticas presentaron menos concentraciones de Pb en sus órganos, plumas y huevos.

Tras lo expuesto anteriormente, el objetivo establecido para la presente investigación consistió en determinar los efectos tóxicos del Plomo (Pb) sobre las aves de la familia Anatidae, mediante una revisión bibliográfica.

Método

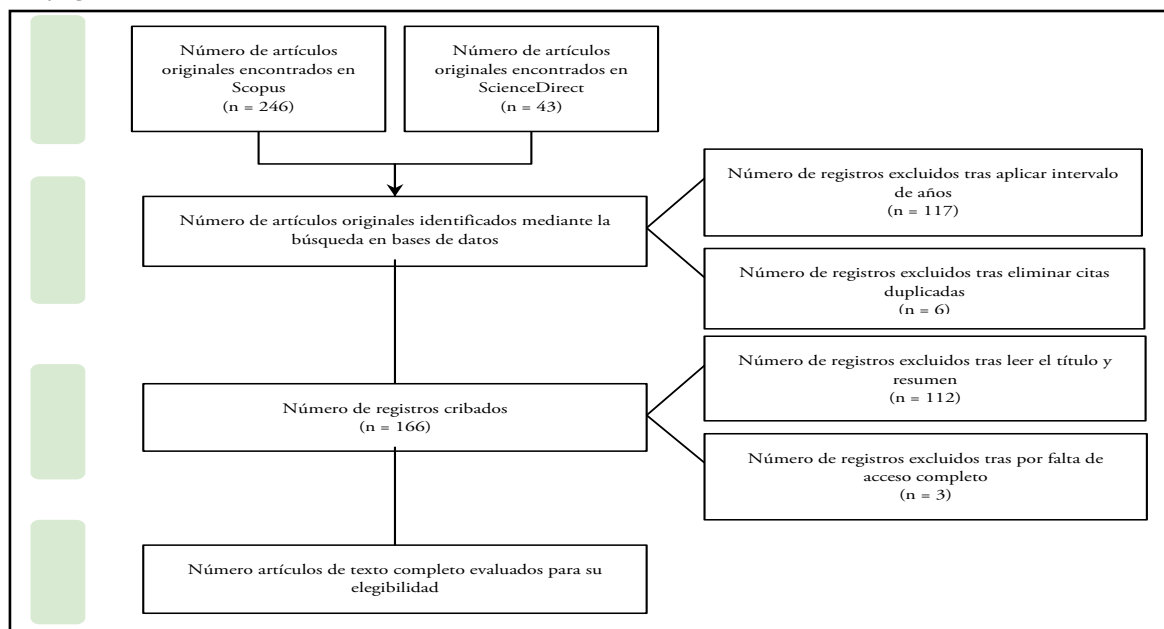
El presente trabajo de investigación está sustentado bajo el modelo PRISMA (Urrútia y Bonfill, 2010), en el cual

se emplearon las bases de datos como ScienceDirect y Scopus; asimismo, a través de las palabras claves en inglés “Anatidae”, “Lead”, “Contamination”, “Effects”, y en español “Anatidae”, “Plomo”, “Contaminación” y “Efectos”. Una vez que las palabras clave han sido validadas, estas fueron combinadas mediante el conector booleano AND, para obtener una búsqueda más específica, formando así las siguientes combinaciones en inglés: “Anatidae” AND “Lead” AND “Contamination” AND “Effects”; mientras que en español resultó: “Anatidae” AND “Plomo” AND “Contaminación” AND “Efectos”. Durante la revisión, se utilizaron criterios de inclusión, donde se consideraron que estos fueran: i) Estudios publicados entre el año 2007 al 2023, para que la información presentada sea actualizada; ii)

Artículos originales. De igual forma, para exclusión de los mismos, se consideraron los siguientes criterios: i) Estudios con información de fuentes secundarias; ii) Estudios publicados antes del año 2015.

En el proceso de búsqueda y selección (Figura 1), se obtuvieron, inicialmente, 289 estudios, de los cuales se excluyeron 117 por año de publicación y seis por ser registros duplicados. Luego de ello, se procedió a verificar el acceso completo a los documentos, eliminándose así tres estudios. De los registros restantes, se realizó una lectura de los títulos y resúmenes, llegando a eliminarse 112 registros y obtener 51. Estos últimos fueron empleados para la elaboración de los resultados y discusión en el presente trabajo

Figura 1
Flujograma PRISMA



Resultados

Los 51 artículos científicos originales fueron ordenados sistemáticamente en una tabla Excel, con la finalidad de determinar

su uso dentro de la investigación. Dentro de la Tabla 1, se consideró y realizó la división de los puntos a tratar en el presente artículo.

Tabla 1
Matriz general de artículos científicos recolectados

N°	TÍTULO	AUTORES	UBICA- CIÓN	AÑO	ESPECIES DE ANÁTIDAS	BIOACUMULACIÓN DE PLOMO EN EL ORGANISMO	CAUSA DE EXPOSICIÓN AL PLOMO	EFFECTOS SUBLETALES
1	Behavior and toxic effects of Pb in a water-fowl model with oral exposure to Pb shots: Investigating Pb exposure in wild birds	Sato, H., Ishii, C., Nakayama, S. M., Ichise, T., Saito, K., Watanabe, Y., Ogasawara, K., Torimoto, R., Kobayashi, A., Kimura, T., Nakamura, Y., Yamagishi, J., Ikenaka, Y., & Ishizuka, M.	Japón	2022	Pato muscovy (<i>Cairina moschata</i>)	La mayor acumulación se observó en los huesos, seguidos del intestino, los riñones, el intestino delgado y el hígado	Se administraron por vía oral tres inyecciones de Pb (240 ± 1,7 mg en total)	Todos los patos mostraron buen apetito y aumentaron su peso corporal, excepto un pato expuesto a Pb, que mostró anorexia leve y letargo 21 días después de la exposición
2	Economic assessment of wild bird mortality induced by the use of lead gunshot in European wetlands	Andreotti, A., Guiberti, V., Nardelli, R., Pirrello, S., Serra, L., Volponi, S., & Green, R. E.	Italia	2018	Pato zambullidor grande (<i>Oxyura jamaicensis</i>), Pato malvasia de cabeza blanca (<i>Oxyura leucocephala</i>), Cisne blanco (<i>Cygnus olor</i>), Cisne cantor (<i>Cygnus cygnus</i>), Cisne de la tundra (<i>Cygnus columbianus</i>), Barnacla cariblanca (<i>Bramia leucopsis</i>), Barnacla canadiense (<i>Bramia canadensis</i>), Ánsar común (<i>Anser anser</i>), Ánsar piquicorto (<i>Anser brachyrhynchus</i>), Ánsar careto (<i>Anser albifrons</i>), Eider común (<i>Somateria mollissima</i>), Negrón común (<i>Melanitta nigra</i>), Porrón osculado (<i>Bucephala clangula</i>), Tarro blanco (<i>Tadorna tadorna</i>), Cerceta pardilla (<i>Marmaronetta angustirostris</i>), Pato colorado (<i>Nettion rufina</i>), Porrón europeo (<i>Aythya ferina</i>), Porrón pardo (<i>Aythya nyroca</i>), Porrón moñudo (<i>Aythya fuligula</i>), Porrón bastardo (<i>Aythya marila</i>), Cerceta carretona (<i>Spatula querquedula</i>), Pato cuchara (<i>Spatula clypeata</i>), Anade friso (<i>Mareca strepera</i>), Silbón europeo (<i>Mareca penelope</i>), Pato de collar (<i>Anas platyrhynchos</i>), Anade rabudo (<i>Anas acuta</i>) y Cerceta común (<i>Anas crecca</i>).	-	Ingestión de perdigones de plomo	-
3	Heavy metal exposure to a migratory waterfowl, Northern Pintail (<i>Anas acuta</i>), in two peri-urban wetlands	Mukherjee, A., Pal, S., Das, P., & Mukhopadhyay, S. K.	India	2022	Pato rojizo (<i>Anas acuta</i>)	-	Se tomaron en consideración tres vías principales de exposición por ingestión oral en las aves a través de los alimentos, el agua y los sedimentos asociados a los alimentos	-

4	Evaluation of Nutritional Quality and Sensory Parameters of Meat from Mallard and Four Species of Wild Goose	Söderquist, P., Olsson, C., Birch, K., & Olsson, V.	Suiza	2022	Ganso de habas (<i>Anser fabalis</i>) Ganso canadiense (<i>Branta canadensis</i>) Ganso silvestre (<i>Anser anser</i>) Ganso percebes (<i>Branta leucopsis</i>) Anade real (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Muslos	Caza activa con munición de plomo (incluidos los disparos de daños)	-
5	Spatial, temporal and environmental differences in concentrations of lead in the blood of Mute swans from summer and winter sites in Poland	Kucharska, K., Binkowski, Ł. J., Zagula, G., & Dudzik, K.	Polonia	2022	Cisnes mudos (<i>Cygnus olor</i>)	Sangre	Ingerir sin darse cuenta perdigones Ingerir plomadas de pesca Ingerir sedimentos contaminados Inhalación de aire contaminado	-
6	Analysis of lead distribution in avian organs by LA-ICP-MS: Study of experimentally lead-exposed ducks and kites	Torimoto, R., Ishii, C., Sato, H., Saito, K., Watanabe, Y., Ogasawara, K., Kubota, A., Matsukawa, T., Yokoyama, K., Kobayashi, A., Kimura, T., Nakayama, S., Ikenaka, T. & Ishizuka, M.	Japón	2021	Patos Muscovy (<i>Cairina moschata</i>)		Ingestión de municiones de plomo	Decoloración pardusca del hígado, vesícula biliar distendida con bilis, áreas de palidez multifocal en el miocardio, hemorragia petequeal multifocal en el cerebelo e hipoplasia de la médula ósea Degeneración de hepatocitos y hemostodiosis
7	Blood lead declines in wintering American black ducks in New Jersey following the lead shot ban	Lewis, N. L., Nichols, T. C., Lilley, C., Roscoe, D. E., & Lavy, J.	Estados Unidos	2021	Pato negro (<i>Anas rubripes</i>)	Sangre	Ingestión de perdigones	-
8	Harvest programs in first nations of subarctic Canada: The benefits go beyond addressing food security and environmental sustainability issues	Tsuji, L. J., Tsuji, S. R., Zuk, A. M., Davey, R., & Liberda, E. N.	Canadá	2020	Ganso gigante (<i>Branta canadensis maxima</i>)		Caza animales silvestres se relaciona con la fragmentación de las municiones de plomo y su incrustación en la carne silvestre Ingestión de perdigones de plomo	Intoxicación aguda por plomo
9	Feathers of Three Waterfowl Bird Species from Northern Iran for Heavy Metals Bio-monitoring	Solgi, E., Mirzaei-Rajjouei, E., & Zamani, A.	Irán	2020	Cerceta común (<i>Anas crecca</i>) Anade real o azulón (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Plumas	Exposición oral (ingestión), Inhalación Contacto dérmico Transferencia materna	Mayor disfunción reproductiva Mayor susceptibilidad a enfermedades u otras tensiones

10	Modulatory Effects of Pb2+ on Virally Challenged Chicken Macrophage (HD-11) and B-Lymphocyte (DT40) Cell Lines In Vitro	Han, B., García-Mendoza, D., van den Berg, H., & W.	Países Bajos	2020	Ánade real	Hígado, riñones y huesos Cáscaras de huevo	Ingestión de perdigones por el agua Exposición materna para los embriones de ave	Afecta la inmunidad Disminuye la resistencia a las infecciones en las aves
11	Lead concentrations in blood from incubating common eiders (Somateria mollissima) in the Baltic Sea	Lam, S. S., McPartland, M., Noori, B., Garbus, S. E., Lierhagen, S., Lyngs, P., Dietz, R., Roland, T.O., Kjær, C.T., Skjold, T.R., Kanstrup, N., Fox, A.D., Hove, S.I., Arzel, C., Krøkje, A. & Sonne, C.	Malasia	2020	Eider común (<i>Somateria mollissima</i>) Eider de anteojos (<i>Somateria fischeri</i>)	Tejidos blandos (hígado, cerebro y huesos)	Ingestión Heridas	Lesiones en el sistema nervioso central Daño hepático y renal
12	Relationship between blood lead levels and physiological stress in mute swans (Cygnus olor) in municipal beaches of the southern Baltic	Meissner, W., Binkowski, L. J., Barker, J., Hahn, A., & Trzeciak, M.	Polonia	2020	Cisne común (<i>Cygnus olor</i>) Pato común (<i>Anas platyrhynchos</i>)	-	Ingestión de municiones de plomo utilizadas en la caza y el tiro deportivo Ingestión de desagüe municipal	Daño en el sistema nervioso central y periférico Disminución de la capacidad reproductiva Alteraciones en el sistema inmunológico Cambios en los niveles de hormonas del estrés Reducción de la capacidad de vuelo Cambios en la composición de la sangre
13	Distribution of contaminants in the environment and wildlife habitat use: a case study with lead and waterfowl on the Upper Texas Coast	Kearns, B., McDowell, S., Moon, J., Rigby, E., Conway, W. C., & Haukos, D.	Estados Unidos	2019	Pato moreado (<i>Anas fulvigula</i>) Pato negro americano	Tejidos	Ingestión de proyectiles de plomo Consumo de invertidos y vegetación contaminada	Efectos sobre la demografía de la población, menor éxito reproductivo y un aumento de la mortalidad. Neurotoxicidad
14	Regulation of lead fishing weights results in mute swan population recovery	Wood, K. A., Brown, M. J., Cromie, R. L., Hilton, G. M., Mackenzie, C., Newth, J. L., Pain, D.J., Perrins, C.M. & Rees, E. C.	Reino Unido	2019	Cisne (<i>Cygnus olor</i>)	Tejidos	Ingestión de plomadas de pesca y perdigones de plomo utilizados en la caza Ingestión de sedimentos contaminados con plomo	Disminución de la capacidad de vuelo Reducción de la capacidad de reproducción Disminución de la capacidad de resistencia a enfermedades y depredadores

15	Metal Concentrations in Tissues of Gadwall and Common Teal from Miankaleh and Gomishan International Wetlands, Iran	Sinkakarimi, M. H., Binkowski, L. J., Hassanpour, M., Rajaei, G., Ahmadpour, M., & Levengood, J. M.	Irán	2018	Ánade friso (<i>Anas strepera</i>) Cerceta común (<i>Anas crecca</i>)	Hígado y riñones. Ingestión de sedimentos contaminados con plomo mientras se alimentan en el fondo de los cuerpos de agua Ingestión de perdigones de plomo utilizados en la caza	Disminución de la producción y calidad de huevos Disminución de la supervivencia de los polluelos Afecciones al sistema nervioso central Cambios en el comportamiento y la capacidad de vuelo
16	Trace element exposure of whooper swans (<i>Cygnus cygnus</i>) wintering in a marine lagoon (Swan Lake), northern China	Wang, F., Xu, S., Zhou, Y., Wang, P., & Zhang, X.	China	2017	Cisnes cantores (<i>Cygnus cygnus</i>)	Hígado, riñones, huesos, músculos y plumas. Ingestión de perdigones de plomo utilizados en la caza Ingestión de alimentos y agua contaminados Ingestión de suelos contaminados	Disminución de la capacidad de vuelo. Reducción de la capacidad de reproducción. Aumento de la mortalidad. Afectación de la función renal y hepática. Afectación del sistema nervioso central. Alteración de la capacidad de procesamiento y metabolismo de otros contaminantes, lo que aumenta su toxicidad.
17	Heavy Metals in Liver and Brain of Waterfowl from the Evros Delta, Greece	Aloupi, M., Karagianni, A., Kazarizidis, S., & Akriotis, T.	Grecia	2017	Ánade rabudo (<i>Anas acuta</i>) Pato cuchara (<i>Anas clypeata</i>) Cerceta pardilla (<i>Anas crecca</i>) Ánades silbones (<i>Anas penelope</i>) Ánades reales (<i>Anas platyrhynchos</i>) Ánades friso (<i>Anas strepera</i>) Ánsares caretos (<i>Anser albifrons</i>) Cisne cantor (<i>Cygnus cygnus</i>) Cisnes vulgares (<i>Cygnus olor</i>)	Hígado, riñones y molleja Ingestión de perdigones de plomo gastados disparado en zonas húmedas y sus alrededores	Disminución indirecta de la probabilidad de supervivencia
18	Lead isotope ratio measurements as indicators for the source of lead poisoning in Mute swans (<i>Cygnus olor</i>) wintering in Puck Bay (northern Poland).	Binkowski, Ł., J., Meissner, W., Trzeciak, M., Izevbekhai, K., & Barker, J.	Polonia	2016	Cisnes vulgares (<i>Cygnus olor</i>).	La principal acumulación de plomo se presentó en muestras de sangre para su evaluación. Ingestión de perdigones de plomo, exposición a pintura con plomo, contaminación por plomo del suelo y el agua y exposición a la industria y la minería.	Se evidenciaron alteraciones en el comportamiento habitual de las aves, disminución en la capacidad de vuelo y de supervivencia.

19	Effect of embedded shot on trace element concentrations in liver of Anseriformes species.	Kim, J., Kim, I. K., & Oh, J. M.	Corea	2016	Ánsares comunes (<i>Anser albifrons</i>), Ánades reales (<i>Anas platyrhynchos</i>) y Ánade picopinto (<i>Anas poecilorhynchos</i>)	Se evidenció acumulación de plomo en el hígado, riñones, músculos y plumas de las especies.	Ingestión de perdigones de caza, contaminación ambiental por metales pesados y otros elementos traza en el agua, el suelo y la cadena trófica.	Se presentó una disminución de la actividad enzimática, función inmunológica de las especies. Hubo evidencia de cambios en la conducta alimentaria, actividad reproductiva, alteraciones en la estructura y función de los órganos, como el hígado y los riñones. Se redujo la calidad del huevo y la viabilidad de los embriones.
20	Risk assessment of lead poisoning and pesticide exposure in the declining population of red-breasted goose (<i>Branta ruficollis</i>) wintering in Eastern Europe	Marco, R., Petkov, N., Lopez-Antia, A., Rodríguez-Estival, J., & Green, A. J.	Bulgaria	2016	Ganso de pecho rojo (<i>Branta ruficollis</i>), Ganso de frente blanca (<i>Anser albifrons</i>), Ganso común (<i>Anser anser</i>) y Perdiz gris (<i>Perdix perdix</i>),	-	Ingestión de perdigones de plomo y suelos contaminados con plomo.	Hubo una disminución en la excreción de porfirinas y menor presencia de histopatología en los gansos (<i>Anser anser</i>) con mayor exposición al plomo.
21	Lead exposure reduces carotenoid-based coloration and constitutive immunity in wild mallards	Vallverdú-Coll, N., Mougeot, F., Ortiz-Sanrailestra, M. E., Rodríguez-Estival, J., López-Antia, A., & Mateo, R.	España	2016	Pato de collar o Ánade ceal (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Presencia de plomo en sangre.	Perdigones de plomo	Estrés oxidativo (incremento de la actividad de las enzimas antioxidantes), coloración de pico amarillento, coloración roja de las patas (machos)
22	A method for heavy metal exposure risk assessment to migratory herbivorous birds and identification of priority pollutants/areas in wetlands	Liang, J., Liu, J., Yuan, X., Zeng, G., Yuan, Y., Wu, H., & Li, F.	China	2016	Ansar careto chico (<i>Anser erythropus</i>)	-	Ingestión de junco (comida) contaminada con plomo.	-
23	Lead pollution from waterfowl hunting in wetlands and rice fields in Argentina	Romano, M., Ferreyra, H., Ferreyra, G., Molina, F. V., Caselli, A., Barberis, I., Beldoménico, P. & Uhart, M.	Argentina	2016	Patos silvestre (<i>Caína moschata sylvestris</i>)	Acumulación de plomo en los tejidos.	Ingestión de perdigones de plomo y ingestión de vegetación contaminada por suelo y agua con altas concentraciones de plomo.	-

24	Plastic and metal ingestion in three species of coastal waterfowl wintering in Atlantic Canada	ah, M. D., Robertson, G. J., Avrie-Hay, D., Roul, S., Ryan, P. C., Wilhelm, S.I. & Mallo-ry, M. L.	Canadá	2015	Patos negros americanos (<i>Anas rubripes</i>), Ánades reales (<i>A. platyrhynchos</i>) y Patos comunes eider (<i>Somateria mollissima</i>),	Cantidad de perdigones en los estómagos de las diferentes especies. Los desechos fueron más comunes en los ánades reales (30.8%), más bajos en los patos negros americanos (2.3%) y más bajos en los eíderes comunes (2.1%).	Ingestión de perdigones de plomo.	-
25	Study on Metal Concentrations in Tissues of Mallard and Pochard from Two Major Wintering Sites in Southeastern Caspian Sea, Iran	Sinka-Karimi, M. H., Pourkhabbaz, A. R., Hassanpour, M., & Levengood, J. M.	Irán	2015	Ánades reales (<i>Anas platyrhynchos</i>) y Pato común (<i>Aythya ferina</i>).	Presencia de concentraciones altas de plomo en hígado de los patos comunes y en riñones de los ánades reales.	Ingestión de perdigones de plomo y agua contaminada con plomo y otros metales.	-
26	Altered immune response in mallard ducklings exposed to lead through maternal transfer in the wild	Vallverdú-Coll, N., López-Antía, A., Martínez-Haro, M., Ortiz-Santallera, M. E., & Mateo, R.	España	2015	Ánades reales (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Sangre, huevos (cascas), transferencia de madre a hijo, (incubación), hígado	Ingestión de perdigones	Envenenamiento, estrés oxidativo, afectaciones al sistema inmunológico, cambio humoral, grosor y pigmentación del huevo, menor peso al nacer
27	Lead poisoning and its in vivo biomarkers in Mallard and Coot from two hunting activity areas in Poland	Binkowski, Ł. J., & Sawicka-Kapusta, K.	Polonia	2015	Ánades reales (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Cerebro, carne, riñones, hígado, bazo, hueso, plumas, molleja, sangre y excremento.	Ingestión de perdigones	-
28	Spatial and interspecific variation of accumulated trace metals between remote and urbane dwelling birds of Pakistan	Abbasi, N. A., Khan, M. U., Jaspers, V. L. B., Chaudhry, M. J. I., & Malik, R. N.	Pakistán	2015	Porrón común, cerceta común y pintail (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Plumas	Migración local hacia lugares de invernada y/o reproducción.	-
29	Lesser White-fronted (Anser erythropus) and Greater White-fronted (A. albifrons) Geese wintering in Greek wetlands are not threatened by Pb through shot ingestion	Aloupi, M., Kazarzidis, S., Akriotis, T., Bantikou, E., & Hatzidaki, V. O.	Grecia	2015	Ganso de frente blanca menor (<i>Anser erythropus</i>) y Ganso de frente blanca mayor (<i>Anser albifrons</i>)	Heces fecales	Ingestión de perdigones de Pb	-
30	Concentration of trace elements in feathers of waterfowl, Korea	Kim, J., & Oh, J. M.	Corea	2014	Ganso de frente blanca (<i>Anser albifrons</i>) Pato de pico manchado (<i>Anas poecilorhynchos</i>) Ánade real (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Plumas	Ingestión de perdigones de Pb	-

31	Assessment of lead exposure in waterfowl species, Korea	Kim, J., & Oh, J. M.	Corea	2014	Ganso de frente blanca (<i>Anser albifrons</i>) Pato de pico manchado (<i>Anas poecilorhyncha</i>) Ánade real (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Hígados, riñones y huesos	Perdigones de plomo	-
32	Blood lead concentrations in Alaskan tundra swans: Linking breeding and wintering areas with satellite telemetry	Ely, C., & Franson, J.	Estados Unidos	2014	Cisne de tundra (<i>Cygnus columbianus</i>)	Sangre		Exposición ambiental por contaminación Se colocan rastreadores en las aves para ver la relación entre la migración y su concentración del plomo en los tejidos
33	Reducing Pb poisoning in birds and Pb exposure in game meat consumers: The dual benefit of effective Pb shot regulation	Marco, R., Válvérdu, N., López, A., Taggart, M., Martínez, M., Guitart, R., & Ortiz, M.	España	2014	Ánade real	Hígado, músculo, molleja		Ingestión e intoxicación de perdigones de Pb
34	Tissue distribution of metals in white-fronted geese and spotted-billed ducks from Korea	Kim, J., & Oh, J.	Corea	2013	Ganso de frente blanca (<i>Anser albifrons</i>) Pato de pico manchado (<i>Anas poecilorhyncha</i>)	Hígado, riñones, carne y huesos	Cacería con balas de plomo	-
35	Detection of zinc, lead, cadmium and arsenic in dabbling ducks from Durango, Mexico	Pereda, M., Martínez, J., & Toca, J.	México	2012	Patos zambullidores (<i>Anas platyrhynchos</i> , <i>Anas discors</i> , <i>Anaschapeata</i> , <i>Anas strepera</i>)	Hígado		-
36	Heavy Metal Accumulations of 4 Species of Anseriformes in Korea	Jin, S., Seo, S., Shin, Y., Bing, K., Kang, T., Paek, W., & Lee, D.	Corea	2012	Cisne cantor (<i>Cygnus cygnus</i>), Ánsar careto (<i>Anser albifrons</i>), Pato mandarín (<i>Aix galericulata</i>) y Cerceta del Baikal (<i>Anas formosa</i>)	Hígado, huesos, riñón	Disparos e ingestión	Altas concentraciones de plomo reducen la tasa de eclosión y de crecimiento (discusión)
37	Influence of taxonomic level, and location on bioaccumulation of toxic metals in bird's feathers: A preliminary biomonitoring study using multiple bird species from Pakistan	Abbasi, N., Jaspers, V., Chaudhry, M., Ali, S., & Malik, R.	Pakistán	2011	Porción europeo (<i>Aythya ferina</i>), Cerceta común (<i>Anas crecca</i>), Ánade rabudo (<i>Anas acuta</i>), Silbón europeo (<i>Anas penelope</i>), Cerceta carretona (<i>Anas querquedula</i>), Tarro canelo (<i>Tadorna ferruginea</i>), Ánade friso (<i>Anas strepera</i>) y Pato de collar (<i>Anas platyrhynchos</i>).	Plumas	Ingestión	-
38	Bioaccumulation of trace elements in trophic levels of wetland plants and waterfowl birds	Hosseini, A., Karbassi, A., Hasanza-deh, B., Monavari, S., Nabavi, S., & Sekhavatjou, M.	Irán	2011	Cerceta pardilla (<i>Marmaronetta angustirostris</i>)	En promedio: Carne: 4,32 mg/kg Plumas: 4,97 mg/kg	Contaminación de agua y sedimentos en el humedal (el metal llegó a la especie por ingestión)	-

Lead, mercury, cadmium, chromium, and arsenic levels in eggs, feathers, and tissues of Canada geese of the New Jersey Meadowlands	Tsipoura, N., Burger, J., Newhouse, M., Jettner, C., Goehfeld, M., & Mizrahi, D.	Estados Unidos	2011	Barnacle canadiense (<i>Branta canadensis</i>) y Pato de collar (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Plumas, hígado y músculos	Agua y sedimentos con niveles de metales pesados elevados, incluyendo el plomo.	4 ppm en las plumas se asocia a efectos negativos sobre el comportamiento, la termorregulación, la locomoción y la percepción de la profundidad, lo que se traduce en una menor supervivencia de los polluelos
39							
Identifying sources of Pb exposure in waterbirds and effects on porphyrin metabolism using noninvasive fecal sampling	Martinez, M., Taggart, M., Martín, R., Green, A., & Mateo, R.	España	2011	Ánade real (<i>Anas platyrhynchos</i>), Ánade friso (<i>Mareca strepera</i>) y Porrón común (<i>Aythya ferina</i>)	Heeces	Ingestión - Sedimentos de lagos contaminados con plomo	-
40							
Mortality factors and lead contamination of wild birds from Korea	Nam, D., & Lee, D.	Corea	2011	Cisne cantor (<i>Cygnus cygnus</i>), Ánsar careto (<i>Anser albifrons</i>) y Pato mandarín (<i>Aix galericulata</i>)	Hígado	Se emplearon aves muertas, cuyas causas fueron disparos	-
41							
Use of grit supplements by waterbirds: An experimental assessment of strategies to reduce lead poisoning	Martinez, M., Green, A., Acevedo, P., & Mateo, R.	España	2011	Porrón común (<i>Aythya ferina</i>), Pato cuchara (<i>Anas chapeata</i>), Ánsar común (<i>Anser anser</i>), Ánade real (<i>Anas platyrhynchos</i>)	-	Ingestión de perdigones de plomo por confusión con arenilla o partículas de alimento	-
42							
Artifact ingestion in sea ducks wintering at northeastern Lake Ontario	Schummer, M., Fife, I., Petrie, S., & Badzinski, S.	Canadá	2011	<i>Bucephala albeola</i> (Porrón coronado), <i>Bucephala clangula</i> (Porrón osculado), <i>Clangula hyemalis</i> (Pavo havelda)	-	Ingestión de perdigones de plomo	-
43							
Adverse health effects in Canada geese (<i>Branta canadensis</i>) associated with waste from zinc and lead mines in the Tri-State Mining District (Kansas, Oklahoma, and Missouri, USA)	Van Der Merwe, D., Carpenter, J. W., Niefeld, J. C., & Miesner, J. E.	Estados Unidos	2011	Ganso canadiense (<i>Branta canadensis</i>)	Sangre, Músculos, Hígado, Cerebro, Huesos, Proventrículo	Inhibición de la actividad enzimática de la Ácido delta-amino-levulinico deshidratasa (ALAD)	-
44							
Blood lead levels in wintering and moulting Icelandic whooper swans over two decades	O'Connell, M. M., Rees, E. C., Einarsson, O., Spray, C. J., Thorstensen, S., & O'Halloran, J.	Reino Unido	2008	Cisne Cantor (<i>Cygnus cygnus</i>)	Sangre (en todas las muestras obtenidas)	-	-
45							

46	The effect of lead poisoning on hematologic and biochemical values in trumpeter swans and Canada geese	Katavolos, P., Staempfli, S., Sears, W., Gancz, A. Y., Smith, D. A., & Bienzle, D.	Canadá	2007	Cisne trompetero (<i>Cygnus buccinator</i>), Ganso canadiense (<i>Branta canadensis</i>)	Sangre	-	Los hematocritos, la concentración de hemoglobina y la concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC) disminuyeron significativamente. Concentración de ácido úrico y actividad enzimática de Gamma glutamil transpeptidasa (GGT) se incrementaron en cisnes trompeteros. Concentración de fósforo disminuyó en cisnes canadienses
47	Arsenic, cadmium, copper, lead, and selenium in migrating blue-winged teal (<i>Anas discors</i> L.)	Fedynich, A. M., Ballard, B. M., McBride, T. J., Estrella, J. A., Garvon, J. M., & Hooper, M. J.	Estados Unidos	2007	Cerceta aliazul (<i>Anas discors</i>)	Hígado	-	-
48	Coupling contaminants with demography: Effects of lead and selenium in Pacific common eiders	Wilson, H., Flint, P., & Powell, A.	Estados Unidos	2007	Eider común (<i>Somateria mollissima</i>)	Sangre (mayor concentración en hembras que estaban incubando, posiblemente debido a la liberación de plomo almacenado en los huesos)	-	-
49	Lead poisoning in wild birds from southern Spain: a comparative study of wetland areas and species affected, and trends over time	Marco, R., Green, A., Lefranc, H., Baos, R., & Figueroa, J.	España	2007	<i>Anser anser</i> (Ganso común), <i>Anas penelope</i> (Mareca Penelope), <i>Anas strepera</i> (Anade friso), <i>Anas crecca</i> (cerceta común), <i>Anas platyrhynchos</i> (ánade real), <i>Anas acuta</i> (Anade rabudo), <i>Anas chapeata</i> (pato cuchara)	Perdigones de plomo en las mollejas. Ingestión de perdigones de plomo	-	-
50	Blood lead concentrations in waterfowl utilizing Lake Coeur d'Alene, Idaho	Spears, B., Hansen, J., & Audet, D.	Estados Unidos	2007	<i>Anas platyrhynchos</i> (Ánade real), <i>Aix sponsa</i> (Pato joyuyo), <i>Branta canadensis</i> (ganso canadiense)	Sangre	Ingestión de sedimentos con contenido de plomo	-
51	Distribution and Numbers of Three Globally Threatened Waterbird Species Wintering in Morocco: The Common Pochard, Marbled Teal, and White-Headed Duck	Ouassou, A., Dakiki, M., El Agbani, M. A., Qninba, A., & El Hamoumi, R. H.	Marruecos	2021	Porrón europeo (<i>Aythya ferina</i>), Malvasía cabeceblanca (<i>Oxyura leucocephala</i>) y Cerceta Pardilla (<i>Marmaronetta angustirostris</i>)	Sangre	Migración	-

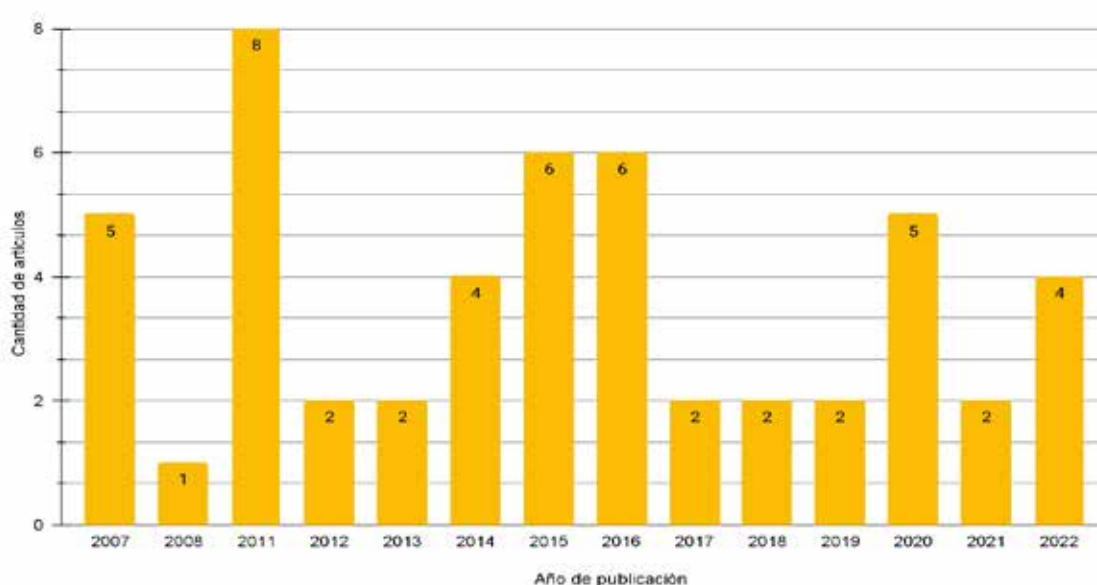
Artículos según su año de publicación

Al realizar una comparación de los años de publicación de los 51 artículos científicos recuperados para el presente trabajo, se puede observar que el tema de investigación sobre los efectos ecotoxicológicos del plomo (Pb) sobre la familia Anatidae ha experimentado variaciones a lo largo de los años. En el año 2007 se recuperaron cinco artículos publicados; mientras que, del año 2008, solo se utilizó uno. Entre los años 2009 y 2010, no se encontraron artículos científicos relevantes para la investigación. No obstante, en el 2011 se presentó la mayor cantidad de estudios científicos sobre Anatidae expuestas al plomo (Pb),

con un total de ocho artículos científicos. En los años 2012 y 2013 se encontraron dos artículos para cada año, y para el 2014, esta cantidad se duplicó a cuatro. En los años 2015 y 2016, se tuvo seis estudios para cada año, pero para el periodo del 2017 al 2019, esta cantidad bajó a dos artículos científicos en cada año. En el año 2020 se ha observado un incremento en la publicación con una cantidad de cinco estudios científicos. En el año 2021, la cantidad de estudios disminuyó a dos, pero aún se mantuvo presente la investigación en este campo. Finalmente, para el año 2022 se recuperaron cuatro estudios científicos, iniciando un nivel de interés continuo de los efectos del plomo en la familia Anatidae.

Figura 2

Artículos por fecha de publicación



Mapa de artículos

Se realizó un análisis de las publicaciones relacionadas con los efectos ecotoxicológicos del plomo (Pb) en la familia Anatidae, abarcando el período comprendido entre 2007 y 2022, en varios países. Los resultados revelan una notable contribución de diversas naciones en este

tema. Encabezando la lista se encuentra Estados Unidos, con una contribución del 16%, lo cual estaba representado por un total de ocho artículos, seguido de España y Corea, con seis artículos en cada país, lo que se interpretaba como un 12% de total. Luego se encuentran Canadá, Irán y Polonia con un 8% de todos los artículos, es decir, cuatro estudios sobre Anatidae

en cada uno. Se rescataron dos artículos de Japón, China, Reino Unido, Grecia y Pakistán, lo que representaba un 4% cada uno, del total. Por último, países como Italia, India, Suiza, Malasia, Marruecos, Bulgaria, Argentina, México y Países Bajos realizaron una contribución de 1 artículo

científico sobre Anatidae expuestas al plomo (Pb), siendo porcentualmente un 10% de todos los artículos; es decir, 2% cada uno. Estos resultados demuestran la diversidad y la importancia mundial de los estudios realizados en diferentes naciones (Figuras 3 y 4).

Figura 3

Artículos por país de origen

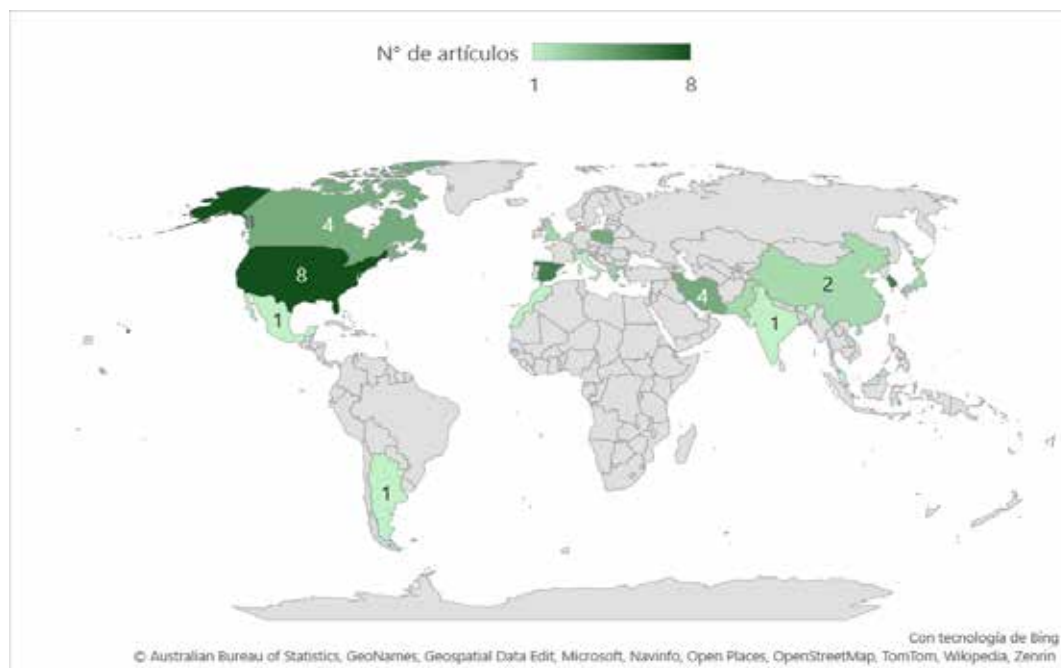
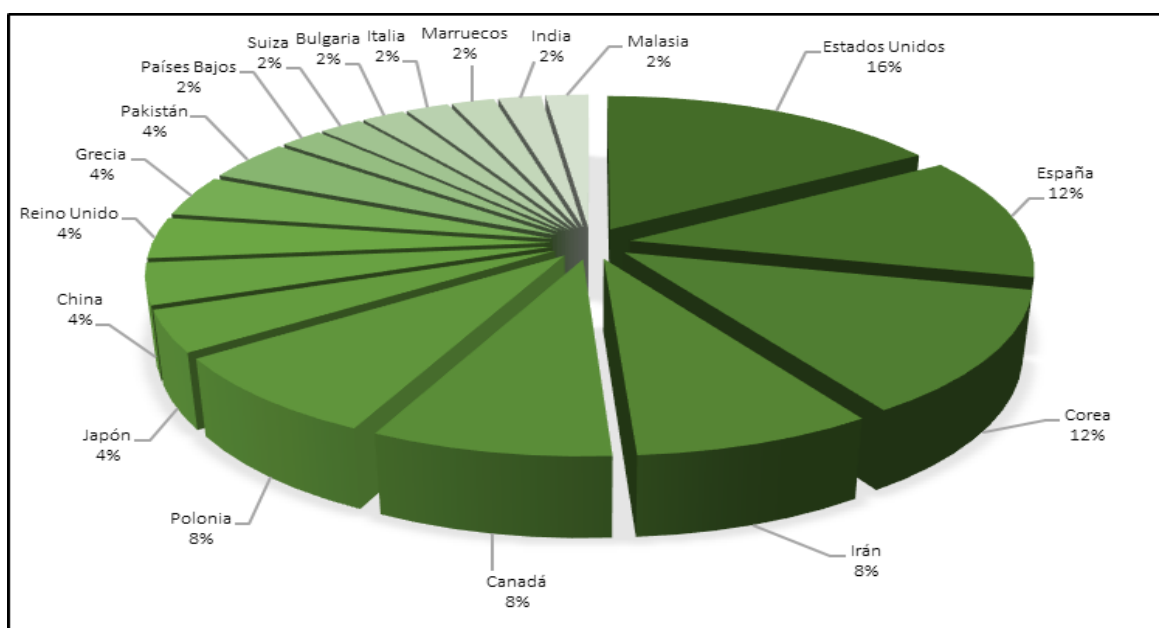


Figura 4

Porcentaje de artículos por país de origen



Géneros y especies de Anátidas

En la Tabla 2, se puede apreciar los géneros y especies de anátidas identificadas dentro de la búsqueda de información, cada una con su nombre común y su nombre científico. En total,

se lograron identificar 18 géneros y 46 especies de aves pertenecientes al orden Anseriformes. Asimismo, se observó que el mayor número de especies, así como también la mayor cantidad de menciones, correspondieron al género *Anas*; seguido de los géneros *Anser* y *Cygnus*.

Tabla 2

Cantidad aves mencionadas

N°	GÉNERO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	MENCIONES
1		Ánade real	<i>Anas platyrhynchos</i>	21
2		Ánade rabudo	<i>Anas acuta</i>	7
3		Pato cuchara común	<i>Anas clypeata</i>	5
4		Cerceta común	<i>Anas crecca</i>	5
5		Ánade friso	<i>Anas strepera</i>	5
6	<i>Anas</i> (Patos)	Pato de pico manchado	<i>Anas poecilorhyncha</i>	3
7		Pato negro	<i>Anas rubripes</i>	3
8		Ánades silbones	<i>Anas penelope</i>	2
9		Pato moteado	<i>Anas fulvigula</i>	1
10		Cerceta del Baikal	<i>Anas formosa</i>	1
11		Cerceta carretona	<i>Anas querquedula</i>	1
12		Ánsar careto	<i>Anser albifrons</i>	9
13	<i>Anser</i> (Ánsares o Gansos)	Ganso común	<i>Anser anser</i>	5
14		Ganso de frente blanca menor	<i>Anser erythropus</i>	3
15		Ánsar piquicorto	<i>Anser brachyrhynchus</i>	1
16		Cisne cantor	<i>Cygnus cygnus</i>	6
17	<i>Cygnus</i> (Cisnes)	Cisne blanco	<i>Cygnus olor</i>	5
18		Cisne de la tundra	<i>Cygnus columbianus</i>	2
19		Cisne trompetero	<i>Cygnus buccinator</i>	1
20		Porrón europeo o porrón común	<i>Aythya ferina</i>	6
21	<i>Porriones</i> (Aythya)	Porrón pardo	<i>Aythya nyroca</i>	1
22		Porrón moñudo	<i>Aythya fuligula</i>	1
23		Porrón bastardo	<i>Aythya marila</i>	1
24		Barnacla o ganso canadiense	<i>Branta canadensis</i>	7
25	<i>Branta</i> (Barnaclas)	Barnacla cariblanca	<i>Branta leucopsis</i>	2
26		Barnacla cuelliropa	<i>Branta ruficollis</i>	1
27	<i>Somateria</i> (Eideres)	Eider común	<i>Somateria mollissima</i>	4
28		Eider de anteojos	<i>Somateria fischeri</i>	1

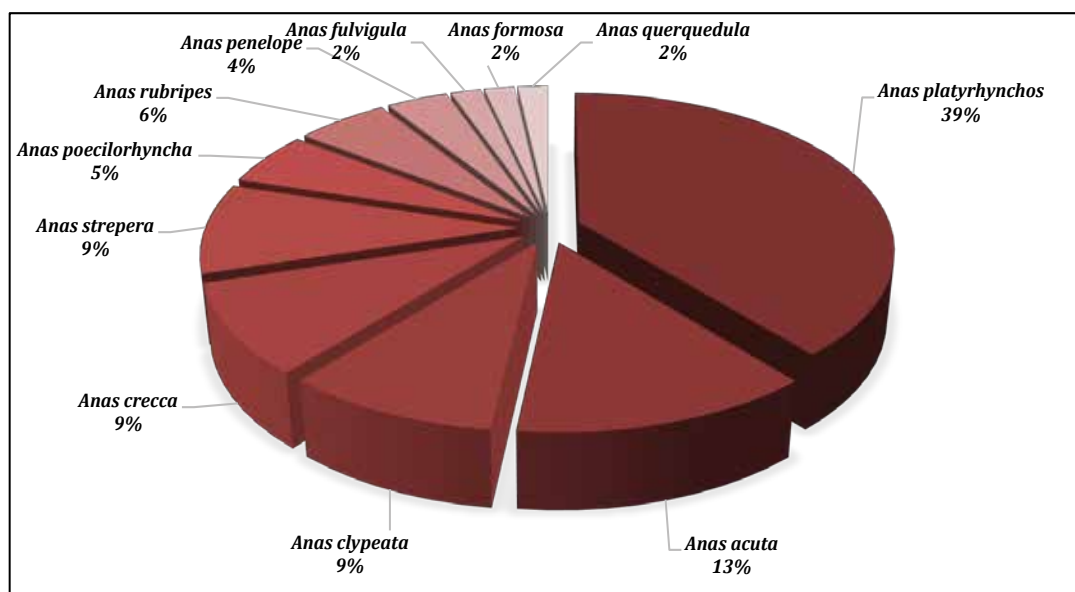
29		Ánade friso	<i>Mareca strepera</i>	2
30	<i>Mareca</i> (Cerceta)	Silbón europeo	<i>Mareca penelope</i>	2
31	<i>Bucephala</i> (Porro-	Porrón osculado	<i>Bucephala clangula</i>	2
32	nes)	Porrón coronado	<i>Bucephala albeola</i>	1
33	<i>Spatula</i> (Patos cu-	Cerceta Ala Azul	<i>Spatula discors</i>	2
34	chara o cercetas)	Cerceta carretona	<i>Spatula querquedula</i>	1
35	<i>Oxyura</i> (Patos	Pato zambullidor grande	<i>Oxyura jamaicensis</i>	1
36	zambullidores)	Pato malvasía de cabeza blanca	<i>Oxyura leucocephala</i>	1
37	<i>Aix</i> (Patos joyuyo y	Pato joyuyo	<i>Aix sponsa</i>	1
38	Patos Mandarin)	Pato mandarín	<i>Aix galericulata</i>	1
39	<i>Tadorna</i> (Tarros)	Tarro blanco	<i>Tadorna tadorna</i>	1
40		Tarro canelo	<i>Tadorna ferruginea</i>	1
41	<i>Marmaronetta</i> (Cerceta pardilla)	Cerceta pardilla	<i>Marmaronetta angustirostris</i>	4
42	<i>Callonetta</i> (Patos de collar)	Pato de collar	<i>Callonetta leucophrys</i>	3
43	<i>Cairina</i> (Patos criollos)	Pato criollo	<i>Cairina moschata</i>	2
44	<i>Netta</i> (Patos colorados)	Pato colorado	<i>Netta rufina</i>	1
45	<i>Negrone</i> (<i>Melanitta</i>)	Negrón común	<i>Melanitta nigra</i>	1
46	<i>Clangula</i> (Patos marinos)	Pavo havelda	<i>Clangula hyemalis</i>	1

En la Figura 5, se observa la composición porcentual de especies mencionadas en los artículos que componen el género

Anas. Las especies que presentaron la mayor cantidad de menciones son *Anas platyrhynchos*, *Anas acuta* y *Anas clypeata*.

Figura 5

Porcentaje de género *Anas* (patos)

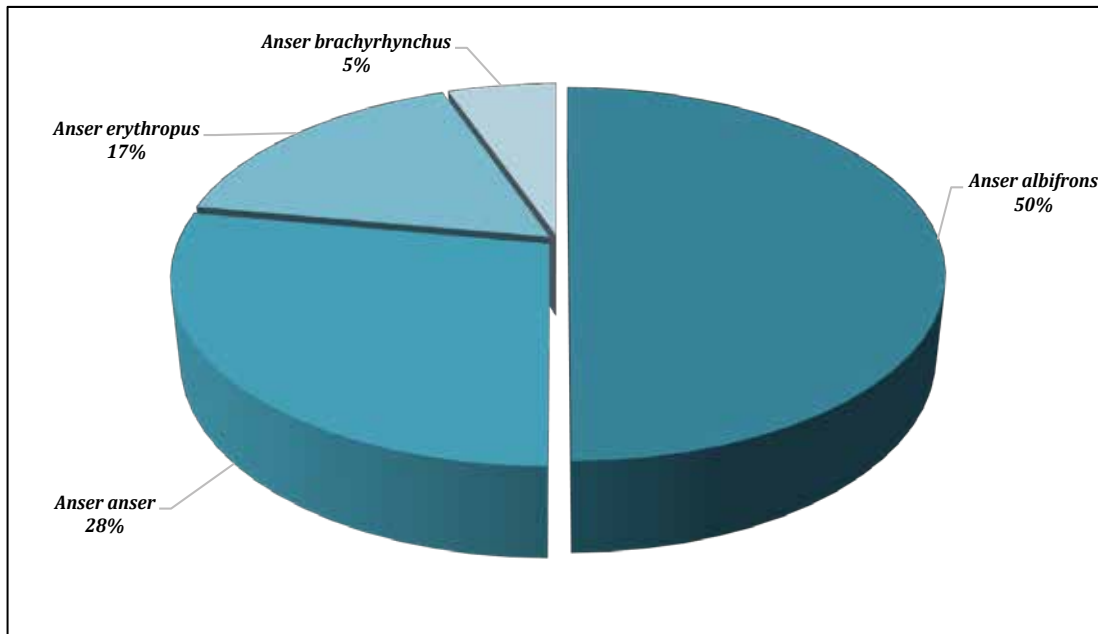


En la Figura 6, se observa la composición porcentual de especies mencionadas en los artículos que componen el género *Anser*.

Las especies que presentaron la mayor cantidad de menciones son *Anser albifrons* y *Anser anser*.

Figura 6

Porcentaje de género *Anser* (ánsares o gansos)

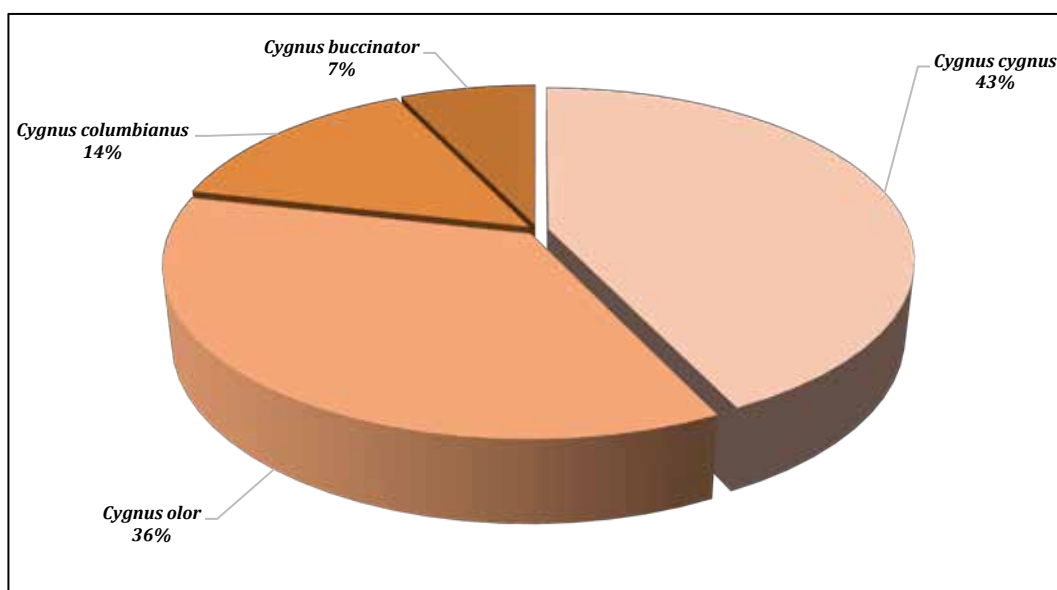


En la Figura 7, se observa la composición porcentual de especies mencionadas en los artículos que componen el género

Cygnus. Las especies que presentaron la mayor cantidad de menciones son *Cygnus cygnus*, y *Cygnus olor*.

Figura 7

Porcentaje de género *Cygnus* (cisnes)



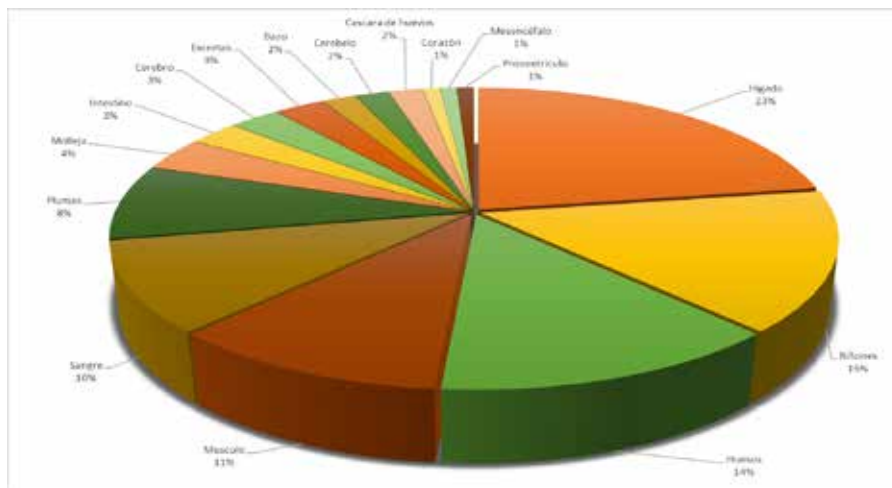
Bioacumulación de plomo en el organismo

En la Figura 8, se aprecia que la bioacumulación del plomo en el organismo se presenta de manera diferencial en distintos tejidos y órganos.

Se han observado los siguientes porcentajes de acumulación en diferentes partes del organismo. Los órganos que presentan la mayor cantidad de bioacumulación son el hígado, los riñones, los huesos y el músculo.

Figura 8

Bioacumulación de plomo (Pb) en el organismo de las Anatidae



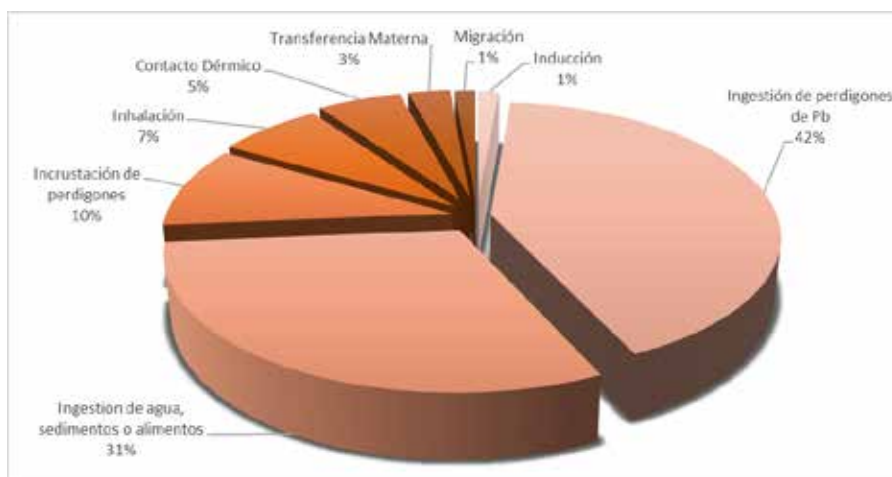
Causas de exposición

Se realizó la identificación de las principales causas de exposición por medio de una revisión exhaustiva de cada uno de los artículos seleccionados, las cuales se muestran en la Figura 9. Por lo que se pudo determinar que las principales

causas de exposición al plomo de la familia Anatidae son por medio de la ingestión de perdigones de plomo e ingestión de agua, sedimentos o alimentos. Seguidamente, los artículos estaban referidos a que la causa de exposición fue la incrustación de perdigones de plomo.

Figura 9

Principales causas de exposición de las Anatidae al plomo (Pb)



Efectos subletales del plomo en el organismo

Luego de realizar un análisis de los efectos subletales de los organismos, se identificaron una gran variabilidad de estos, obteniendo 24 diferentes efectos del plomo en las especies de la familia Anatidae, los cuales se visualizan en la Tabla 3. El principal de estos es la alteración del sistema inmunológico con una proporción del 13%. Seguido de ello, se encuentran los efectos de disminución de la probabilidad de supervivencia y daño

en el sistema nervioso central, con una proporción de 11% cada uno. Por otro lado, el 9% de los efectos evaluados fue la disminución de la capacidad reproductiva y reducción de la capacidad del vuelo cada uno; mientras que el daño hepático y renal representaba un 7%. Y, en una menor proporción (5%), se encuentran la alteración de la actividad enzimática y la disminución de la calidad del huevo. Finalmente, en una proporción mínima (2%), se encuentran efectos como cambio humoral, coloración amarillenta en el pico, letargo, etc.

Tabla 3

Cantidad de efectos subletales

Efectos subletales	Menciones
Anorexia leve	1
Letargo	1
Degeneración de hepatocitos y hemosiderosis	1
Mayor disfunción reproductiva	1
Alteración del sistema inmunológico	7
Daño en el sistema nervioso central	6
Daño hepático y renal	4
Cambio en los niveles de hormonas del estrés	1
Reducción de la capacidad de vuelo	5
Cambios en la composición de la sangre	1
Disminución de la producción de huevos	1
Disminución de la calidad del huevo	3
Disminución de la probabilidad de supervivencia	6
Alteración de la actividad enzimática	3
Disminución de la capacidad de reproducción	5
Disminución de la excreción de porfirinas	1
Coloración amarillenta del pico	1
Coloración roja de las patas	1
Estrés oxidativo	2
Cambio humoral	1
Menor peso al nacer	1
Afección sobre la termorregulación	1
Afección sobre la percepción de profundidad	1
Afección sobre la locomoción	1

Discusión

Géneros y especies de Anátidas

De la revisión bibliográfica, se observa que las especies de la familia Anatidae han sido frecuentemente utilizadas para el estudio de la ecotoxicología en aves, debido a que muchas de ellas (*A. platyrhynchos*, *A. crecca*, *C. hyemalis*, *B. clangula*, *A. marila*) están distribuidas en diferentes partes del mundo y son tan comunes, que es posible realizar comparaciones ecotoxicológicas cuando ocurren reducciones drásticas en sus poblaciones (Kalisińska & Salicki, 2010). Se suele utilizar con mayor frecuencia las especies del género *Anas* para estudios de efectos ecotoxicológicos del plomo en aves de la familia *Anatidae*; pero una de ellas, el ánade real (*A. platyrhynchos*), destaca del resto, con 21 menciones. Esto se debe a que se trata de la especie de patos más común y extendida a nivel mundial, contando más de 30 millones de individuos en todo el planeta (Alipour et al., 2016). Esta especie de gran importancia comercial y alimentaria, ya que es criada por sus huevos y su carne, la cual tiene un costo accesible que se ubica entre la carne del pollo y del pavo. Por otro lado, desde el punto de vista ecotoxicológico, esta especie ha sido ampliamente estudiada y su fisiología ya es conocida, por lo que se pueden interpretar fácilmente los efectos letales y subletales que sufren por su exposición a altas dosis de metales tóxicos (Kalisińska et al., 2004).

Otro de los géneros más mencionados dentro de los estudios ecotoxicológicos es el género *Anser*. Estas aves son consideradas componentes esenciales dentro de los humedales, interviniendo directa e indirectamente a

su funcionamiento; por ello, sus plumas y huevos se han utilizado para determinar la calidad del medio ambiente y los niveles de contaminantes tales como los metales pesados, Bifenilos Policlorados (PCBs) o pesticidas (Rodrigues, 2013; Borticher, 2004). La especie de este género que más resaltó fue *A. albifrons* con un total de nueve menciones en todos los artículos revisados para la investigación. Además de ser una especie bioindicadora, esta es amenazada durante la temporada de caza y los eventos de caza deportiva en épocas de otoño e invierno (Dusek, et al, 2009). De manera similar, las aves del género *Cygnus*, están identificadas como bioindicadores de contaminación, debido a su sensibilidad a cambios ambientales, tendiendo a acumular sustancias tóxicas en sus organismos, es por ello que muchos de sus individuos se encuentran en peligro de extinción (Saldivia, 2005; Matthew, 2023). Por último, se encuentran dos especies con un gran número de menciones, las cuales son la *A. ferina* y *B. canadensis*, con seis y siete menciones, respectivamente.

Al igual que los cisnes, estas especies han mostrado altos índices de mortalidad a causa de la ingestión de perdigones de plomo (Matthew, 2023; Quy, 2010). La importancia de estudiar los efectos ecotoxicológicos en estas especies radica en que *A. ferina* es un ave muy influenciada por su medio, por lo que puede ser usado como bioindicador (Matamala & Aguilar, 2007; Chavero, 2018). En cambio, los individuos de la especie *B. canadensis* pueden transmitir contaminantes desde el medio acuático al terrestre, a través de sus heces y sus plumas, sirviendo de vectores por encontrarse en grandes cantidades cerca de los humanos (Sullivan & Rodewald, 2012).

Bioacumulación de plomo (Pb) en Anatidae

Bioacumulación de plomo en el organismo con mayor concentración

Tras llevar a cabo la revisión bibliográfica, se pudo determinar que la bioacumulación del plomo en diversos tejidos y órganos mostró resultados significativos. Se encontró que el hígado presentó la mayor concentración de bioacumulación, alcanzando un impresionante 23%, seguido de cerca por los riñones con un 15%. Los huesos también mostraron una notable acumulación de plomo, con un 14%, mientras que los músculos, la sangre y las plumas exhibieron cifras algo más bajas, con un 11%, 10% y 8%, respectivamente. La acumulación de plomo en estos órganos se debe a un proceso en el cual las municiones de plomo utilizadas, como perdigones, sufren oxidación y disolución en el estómago debido a los ácidos presentes en el proceso digestivo (Norman, 1976). Esta transformación conduce a la formación de sales de plomo, las cuales son absorbidas en el intestino (Pain, 1990). Estudios han demostrado que estas sales de plomo ingresan al torrente sanguíneo y se distribuyen por todo el cuerpo, depositándose en órganos clave como el hígado, los riñones, los huesos y los músculos (Cao et al., 2010). Además, se ha identificado una fuerte relación entre las áreas de caza y la exposición al plomo, lo que se traduce en una mayor incidencia de altas concentraciones de plomo en la sangre de las aves (Klopfer, 2014). Estas áreas de caza suelen ser escenarios donde se utilizan municiones de plomo, lo que contribuye significativamente a la exposición y acumulación del metal en las aves (Durant et al., 2014). Es importante

destacar que la presencia de altos niveles de plomo en la sangre se ha asociado con la disminución de la mineralización ósea, lo que puede resultar en una mayor fragilidad y debilidad ósea en las aves (Nichols & Johnson, 2016).

Bioacumulación de plomo en el organismo con mediana concentración

A partir de la revisión bibliográfica, se encontró que la bioacumulación en varios tejidos y órganos mostró diferentes concentraciones. La molleja presentó una concentración de bioacumulación del 3,6%, mientras que los intestinos, el cerebro y las excretas tuvieron una concentración del 2,7% en cada uno de estos órganos, respectivamente. Las aves acuáticas ingieren objetos de plomo como perdigones o plumadas accidentalmente, confundiendo con alimento o arena depositados en el fondo de los cuerpos de agua (García & Navas, 2020). Una vez ingerido, el plomo se erosiona en la molleja debido al ambiente ácido y los movimientos de molienda del tracto digestivo, volviéndose soluble en forma iónica y permitiendo su absorción y distribución en los tejidos del cuerpo de las aves (Colina et al., 2013). El plomo también es absorbido en el intestino, viaja a través del torrente sanguíneo y se acumula en el sistema digestivo (Ross-Muñoz, 2011). La bioacumulación del plomo también se genera a partir de la erosión de los perdigones en el ventrículo, los cambios en las concentraciones de plomo en la sangre a lo largo del tiempo y la distribución del plomo en los tejidos, así como su eliminación a través de las excretas (Sato et al., 2022). Además, la acumulación de plomo en el cerebro es el resultado de la exposición crónica a través de la ingestión de partículas de plomo. Asimismo, se ha

establecido que la exposición prolongada al plomo puede llevar a su acumulación en el cerebro (Meissner et al., 2020). Por último, las excretas también pueden contener metabolitos de plomo debido a que son absorbidos durante la digestión, que se eliminan a través de la orina o las heces (Ferreira, 2011).

Bioacumulación de plomo en el organismo con menor concentración

La bioacumulación en el bazo ocurre debido a la ingestión de perdigones de plomo presentes en el entorno acuático o en áreas de caza contaminadas (Beyer et al., 2014). Una vez ingerido, el plomo es absorbido por el organismo de las aves y se acumula en los tejidos, incluyendo los órganos reproductores (Scheuhammer et al., 2019). Durante la formación de los huevos, el plomo puede transferirse a la cáscara a medida que se deposita durante el proceso de calcificación (Mateo & Belliure, 2017). La exposición crónica al plomo puede dar lugar a la acumulación de este metal en el corazón y otros órganos, lo que puede ocasionar daño cardiovascular y afectar la función cardíaca (Pain et al., 2009). Esta acumulación en el corazón puede ocurrir a través de la exposición al plomo mediante la dieta o la inhalación de partículas de plomo (Stroud et al., 2010). Una vez que el plomo es absorbido en el torrente sanguíneo, se distribuye por todo el cuerpo, incluyendo el corazón. En cuanto al mesencéfalo, se ha observado que la exposición crónica al plomo puede resultar en su acumulación en esta región del cerebro (Feige & Scheuhammer, 2008). En el caso del proventrículo, que es la primera parte del estómago en las aves, cuando estas se alimentan de presas o consumen alimentos que contienen partículas de plomo, este metal puede ser

absorbido en el tracto gastrointestinal y acumularse en el proventrículo (Kaneko & Ralston, 2007). El plomo puede adherirse a las paredes de este órgano y permanecer retenido en él, lo que conduce a su acumulación a lo largo del tiempo (Mateo & Guitart, 2003).

Causas de exposición

Actualmente, se sabe que una de las principales amenazas que tienen muchas especies acuáticas, principalmente las Anatidae, es la caza, ya sea indiscriminada o por deporte (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO], 1997). Sin embargo, la exposición al plomo que tienen las especies de esta familia no es debido principalmente al impacto de los perdigones por esta actividad, el cual representó ser la tercera causa principal, y ello se corrobora con estudios como los de Scheuhammer et al. (1998) y Tsuji et al. (1999), que aducen que solo cerca del 10% de las aves acuáticas de caza, donde se incluyen las Anatidae, son impactadas y contaminadas por estos perdigones, o restos de estos, los cuales contienen Pb. Tras la revisión de las causas por las que las aves acuáticas de la familia Anatidae son expuestas al Pb, se logró observar que la mayor parte de investigaciones tuvieron como causa principal la ingesta directa de perdigones de Pb, con un 42% de representación entre los estudios recuperados, o a través de su alimentación, que fue el 31% de los resultados de los estudios. Ello se corrobora con estudios como los de Mateo (2009), donde se indica que cerca de 15 poblaciones de aves acuáticas en Europa se han reducido, debido principalmente a la ingesta de perdigones de plomo; asimismo, The BirdLife International (2004), señala

diversas poblaciones de la familia Anatidae que van en declinación, como las *Ana acuta* y *Aythya ferina*, que consumen entre el 50% al 70% de los perdigones de caza, ya sea de manera directa o a través de su alimentación (agua, algas, sedimentos, etc.). Incluso, estudios aislados como el de Martínez-Haro et al. (2011), mostraron que el 19% de los ánades azulones cazados muestran intoxicación por Pb debido a la ingesta de perdigones utilizados en la caza.

Efectos subletales del plomo en el organismo

La alteración del sistema inmunológico

Para la evaluación de efectos en el sistema inmune existen diversos indicadores, uno de ellos es la relación heterófilos/linfocitos (H/L), la cual, al presentarse frente a altas concentraciones de plomo, aumenta su valor causando estrés fisiológico generando otros efectos como en la disminución del rendimiento reproductivo y supervivencia de aves (Meissner et al., 2020). Asimismo, la exposición al Pb origina otros efectos como en la reducción de anticuerpos en las Anátidas como las células formadoras de placas de bazo (SPFC), inmunoglobulina Y (IgY) y los anticuerpos contra los glóbulos rojos de oveja (SRBC) (Vallverdú-Coll et al., 2019). Por otro lado, se ven afectadas las células T colaboradoras (Th) ocasionando un desequilibrio en las células Th1 y Th2 que son responsables de la inmunidad humoral, lo cual resulta en inmunosupresión o reacciones alérgicas (Vallverdú-Coll et al., 2015).

Daño en el sistema nervioso central

Dentro de los efectos subletales a los que son susceptibles las Anatidae por

la exposición al plomo, el daño en el sistema nervioso central fue el segundo más registrado en los artículos, con un 11%, al igual que la disminución de las probabilidades de supervivencia. Este problema surge a partir del consumo accidental de plomo por parte de estas aves, quienes confunden los perdigones con piedras pequeñas que ingieren con la finalidad de facilitar la digestión de los materiales vegetales que consumen, lo cual puede causar la muerte del animal (Rodríguez & Palacios, 2018). No obstante, en ciertos casos, esto no sucede y el plomo dentro del organismo puede ser absorbido y distribuido a diferentes órganos, produciendo diversos efectos negativos, como el daño al sistema nervioso que se manifiesta causando debilidad muscular, convulsiones y ceguera en las aves (Valverde et al., 2019; Díaz et al., 2019). Cabe resaltar, que una forma de detección del plomo en la sangre de estos animales es mediante los niveles de protoporfirina, un compuesto orgánico que sirve como indicador indirecto de la cantidad de plomo en sangre, el cual nos señala que a concentraciones por encima de las 40 ppm hay envenenamiento por plomo y a niveles superiores a las 500 ppm, hay afección al sistema nervioso y por ende la alteración de las funciones motoras (De Francisco et al., 2003).

Disminución de las probabilidades de supervivencia

La disminución de las probabilidades de supervivencia de las Anatidae por su exposición al plomo, resultó como uno de los efectos subletales más registrados en los estudios en una proporción del 11% del total de artículos evaluados. Este tema ha tenido una gran repercusión de forma reiterada por parte de los

conservacionistas, quienes han defendido la necesidad de una mayor regulación en el uso de plomo debido a sus efectos nocivos en los animales, siendo el uso de perdigones en humedales donde se practica el tiro, una de las principales amenazas de intoxicación por plomo para las aves acuáticas, como las Anatidae, quienes la ingieren de forma accidental (Mondai et al., 2015; Mateo et al., 1997). Una vez dentro de su organismo, este contaminante causa una disminución en las probabilidades de supervivencia de estas aves debido a sus múltiples efectos sobre su inmunocompetencia, comportamiento, movilidad y capacidad para encontrar alimento y/o evadir a los depredadores (Wilson et al., 2007; Muñoz, 2011). Esto se pudo observar en el estudio realizado por Wood et al. (2019), quienes comprobaron que el envenenamiento por plomo de cisnes mudos en Gran Bretaña, tuvo un impacto a escala nacional, al limitar el tamaño de su población por medio de sus efectos en la supervivencia de esta ave, en forma adulta o juvenil.

Reducción de la capacidad de reproducción y de vuelo

La reducción de la capacidad de reproducción y de vuelo, resultaron ser otros de los efectos subletales más frecuentes en los estudios, ambos con una proporción del 9% del total de artículos evaluados. Ambas consecuencias parten de una misma causa, puesto que el ingreso del plomo en las Anatidae causa de forma inicial, el letargo del individuo, lo cual suele estar asociado al comienzo de una parálisis muscular o a la disminución en la ingesta de alimentos que cae por debajo de los requisitos nutricionales mínimos (Olney, 1960) Tras ello, al cabo

de dos semanas de la ingesta de plomo, se produce la parálisis del tracto digestivo del ave, lo cual impide que esta puede digerir los alimentos que consume y por consiguiente, ocasiona que el individuo se ponga muy débil, hasta el punto de presentar una dificultad para poder desplazarse; es decir, ser incapaz de sostener el vuelo o caminar de forma adecuada (De Francisco et al., 2003; Ferreyra, 2011). De igual manera, el rendimiento reproductivo de las Anatidae, se encuentra relacionado de forma directa y positiva a la condición corporal del individuo, por lo cual en la época pre-reproductora estas aves son potencialmente sensibles a cualquier perturbación que pueda impactar en su capacidad de búsqueda de alimento y descanso, almacenamiento de nutrientes o gasto de reservas energéticas, como es la ingesta de plomo (Arzel et al., 2006).

Daño hepático y renal

El plomo ingresa por medio del tracto digestivo al organismo, se acumula en la sangre por dos semanas aproximadamente transportándose por medio de las membranas de los eritrocitos para, posteriormente, acumularse en los tejidos blandos (hígado y riñón) hasta que, finalmente, se acumula en los huesos de las aves (Descalzo & Mateo, 2018). Por otro lado, se ha demostrado que el plomo se suele acumular de manera difusa en el parénquima del hígado causando degeneración de hepatocitos y hemossiderosis, lo cual provoca cambios histopatológicos (Torimoto et al., 2021). Asimismo, la ingestión de plomo causa un agrandamiento de hasta cinco veces el tamaño de la vesícula biliar y genera una sobreproducción de bilis que se puede evidenciar por medio de diarreas color verde brillante (Olney, 1960). En cuanto

a los riñones, se han encontrado diversas lesiones en este debido a la intoxicación con plomo como las congestiones (alteración circulatoria) e hinchazón y degeneración del epitelio de los túbulos renales (Binkowski et al., 20).

Conclusiones

En conclusión, los estudios revisados sobre los efectos ecotoxicológicos del plomo en aves de la familia Anatidae han demostrado de manera contundente que las especies de patos y gansos, como *A. platyrhynchos*, *A. albifrons*, *C. cygnus*, *A. ferina* y *B. canadensis*, son ampliamente utilizadas como sujetos de investigación debido a su distribución global, así como su destacada capacidad para actuar como bioindicadores de contaminación. Los resultados de estos estudios indican que la bioacumulación de plomo en el organismo de estas aves se concentra principalmente en el hígado, los riñones y los huesos, seguidos de los músculos, la sangre y las plumas. La principal causa de exposición es la ingestión accidental de perdigones de plomo, ya sea al confundirlos con

alimento o arena en los cuerpos de agua, seguida de la exposición a través de la alimentación. Es importante destacar que los efectos subletales del plomo en estas aves abarcan alteraciones en el sistema inmunológico, como un incremento en la relación heterófilos/linfocitos y una disminución en la producción de anticuerpos. Estos efectos pueden tener consecuencias negativas en el rendimiento reproductivo y la supervivencia de las aves, poniendo en peligro la estabilidad de sus poblaciones. En resumen, los estudios ecotoxicológicos en aves de la familia Anatidae han proporcionado información valiosa acerca de la exposición y los efectos del plomo en estas especies. Estos hallazgos resaltan la urgente necesidad de implementar medidas de conservación y gestión adecuadas para proteger a estas aves y preservar sus hábitats de los efectos nocivos de la contaminación por plomo. Es esencial tomar acciones para reducir la presencia de plomo en los entornos acuáticos, promover prácticas de caza seguras y concientizar sobre los riesgos asociados con la contaminación por plomo.

Referencias

- Abbasi, N. A., Jaspers, V. L. B., Chaudhry, M. J. I., Ali, S., & Malik, R. N. (2015). Influence of taxa, trophic level, and location on bioaccumulation of toxic metals in bird's feathers: a preliminary biomonitoring study using multiple bird species from Pakistan. *Chemosphere*, 120, 527-537.
- Abbasi, N. A., Khan, M. U., Jaspers, V. L. B., Chaudhry, M. J. I., & Malik, R. N. (2015). Spatial and interspecific variation of accumulated trace metals between remote and urbane dwelling birds of Pakistan. *Ecotoxicology and environmental safety*, 113, 279-286.
- Agencia de Protección Ambiental-EPA. (2022). *Estrategia para Reducir la Exposición al Plomo y las Disparidades en las Comunidades de Estados Unidos*. <https://espanol.epa.gov/system/files/documents/202211/Estrategia%20para%20al%20plomo.pdf>

- Alerstam, T., Hedenström, A., & Åkesson, S. (2003). Long-distance migration: evolution and determinants. *Oikos*, 103(2), 247-260.
- Alipour, H., Solgi, E., & Majnoui, F. (2016). Concentrations of heavy metals in tissues of the Mallard *Anas platyrhynchos* in Kanibarazan, northwestern Iran. *Podoces*, 11(2), 35-42.
- Aloupi, M., Karagianni, A., Kazantzidis, S., & Akriotis, T. (2017). Heavy metals in liver and brain of waterfowl from the Evros Delta, Greece. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 72, 215-234.
- Aloupi, M., Kazantzidis, S., Akriotis, T., Bantikou, E., & Hatzidaki, V. O. (2015). Lesser white-fronted (*Anser erythropus*) and greater white-fronted (*A. albifrons*) geese wintering in Greek wetlands are not threatened by Pb through shot ingestion. *Science of the Total Environment*, 527, 279-286.
- Andreotti, A., Guberti, V., Nardelli, R., Pirrello, S., Serra, L., Volponi, S., & Green, R. E. (2018). Economic assessment of wild bird mortality induced by the use of lead gunshot in European wetlands. *Science of the Total Environment*, 610, 1505-1513.
- Arzel, C., Elmberg, J., & Guillemain, M. (2006). Ecology of spring-migrating Anatidae: a review. *Journal of Ornithology*, 147, 167-184. <https://doi.org/10.1007/s10336-006-0054-8>
- Bassi, E., Facchetti, R., Ferloni, M., Pastorino, A., Bianchi, A., Fedrizzi, G., & Andreotti, A. (2021). Lead contamination in tissues of large avian scavengers in south-central Europe. *Science of The Total Environment*, 778, 146130. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146130>
- Berger, C. S., Berger, L., & Skerratt, L. F. (2019). Airborne lead dust concentration in Townsville, Queensland is associated with port activity and may contribute to estuarine sediment contamination. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 225, 106257. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106257>
- Beyer, W.N., Franson, J.C., & Locke, L.N. (2014). *Environmental Contaminants in Wildlife: Interpreting Tissue Concentrations*. <https://www.crcpress.com/Environmental-Contaminants-in-Wildlife-Interpreting-Tissue-Concentrations/Beyer-Franson-Locke/9780873718155>.
- Binkowski, Ł. J., & Sawicka-Kapusta, K. (2015). Lead poisoning and its in vivo biomarkers in Mallard and Coot from two hunting activity areas in Poland. *Chemosphere*, 127, 101-108.
- Binkowski, Ł. J., Meissner, W., Trzeciak, M., Izevbekhai, K., & Barker, J. (2016). Lead isotope ratio measurements as indicators for the source of lead poisoning in Mute swans (*Cygnus olor*) wintering in Puck Bay (northern Poland). *Chemosphere*, 164, 436-442.

- Binkowski, Ł. J., Sawicka-Kapusta, K., Szarek, J., Strzyżewska, E., & Felsmann, M. (2013). Histopathology of liver and kidneys of wild living Mallards *Anas platyrhynchos* and Coots *Fulica atra* with considerable concentrations of lead and cadmium. *Science of the Total Environment*, 450, 326-333.
- Birdlife International (2004) *Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status*. BirdLife International, Wageningen.
- Borticher, A. (2004). *Valores bioquímicos sanguíneos del cisne de cuello negro (Cygnus melanocoryphus, Molina 1782), en una población silvestre, de Valdivia, Chile* [Tesis, Universidad Austral de Chile].
- Cao, L., Zhang, Y., Barter, M., & Lei, G. (2010). Anatidae in eastern China during the non-breeding season: Geographical distributions and protection status. *Biological Conservation*, 143, 650-659. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.001>
- Chavero, J. (2018). Programa de seguimiento de biodiversidad en la reserva de biosfera de Menorca. Consell Insular de Menorca.
- Christou, A., Hadjisterkotis, E., Dalias, P., Demetriou, E., Christofidou, M., Kozakou, S., & Neocleous, D. (2022). Lead contamination of soils, sediments, and vegetation in a shooting range and adjacent terrestrial and aquatic ecosystems: A holistic approach for evaluating potential risks. *Chemosphere*, 292, 133424. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133424>
- Colina, A. H., Azpiri, G. S., & Hiriart, M. M. (2013). *Desarrollo de un sistema experto (SEDEAA) para apoyar el diagnóstico de algunas enfermedades letales de aves acuáticas en México*. (Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México). <http://132.248.9.195/ptd2013/agosto/0698379/0698379.pdf>
- De Francisco, N., Ruiz Troya, J. D., & Agüera, E. I. (2003). Lead and lead toxicity in domestic and free living birds. *Avian Pathology*, 32, 3-13. <https://doi.org/10.1080/0307945021000070660>
- Descalzo, E., & Mateo, R. (2018). *La contaminación por munición de plomo en Europa: el plumbismo aviar y las implicaciones en la seguridad de la carne de caza*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Díaz, D. D., Villanueva, H. Z., Hernández, N. F., Monterrosa, R. C., Amor, A. R., Ramírez, M. D., Jimenez, J., García, M., Miranda, G., & Flores, L. H. (2019). Presencia de metales pesados en Pato Mexicano (*Anas diazi Ridgway*). *Agro Productividad*, 12(11), 89-92. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi0.1504>
- Durant, D., Fritz, H., & Duncan, P. (2014). Feeding patch selection by herbivorous Anatidae: the influence of body size, and of plant quantity and quality. *Journal of avian biology*, 35(2), 144-152. <https://doi.org/10.1111/j.0908-8857.2004.03166.x>

- Durkalec, M., Martínez-Haro, M., Nawrocka, A., Pareja-Carrera, J., Smits, J. E., & Mateo, R. (2022). Factors influencing lead, mercury and other trace element exposure in birds from metal mining areas. *Environmental Research*, 212, 113575. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113575>
- Dusek, R., Bradley, T., DeLiberto, H., Franson, B., Swafford, S., & Hon S. (2009). Surveillance for High Pathogenicity Avian Influenza Virus in Wild Birds in the Pacific Flyway of the United States, 2006–2007. *Avian Disease*, 53(2), 222-230.
- Ely, C. R., & Franson, J. C. (2014). Blood lead concentrations in Alaskan tundra swans: linking breeding and wintering areas with satellite telemetry. *Ecotoxicology*, 23, 349-356.
- English, M. D., Robertson, G. J., Avery-Gomm, S., Pirie-Hay, D., Roul, S., Ryan, P. C., Wilhelm, S.I., & Mallory, M. L. (2015). Plastic and metal ingestion in three species of coastal waterfowl wintering in Atlantic Canada. *Marine pollution bulletin*, 98(1-2), 349-353.
- Fedynich, A. M., Ballard, B. M., McBride, T. J., Estrella, J. A., Garvon, J. M., & Hooper, M. J. (2007). Arsenic, cadmium, copper, lead, and selenium in migrating blue-winged teal (*Anas discors* L.). *Archives of environmental contamination and toxicology*, 53, 662-666.
- Feige, N., & Scheuhammer, A.M. (2008). Current exposure and effects of lead in waterfowl. In: Fairbrother, A., Locke, L.N., Hoff, G.L., & Hoffmann, D.J. (eds.). *Non-chemical Stressors: Human and Wildlife Impacts*. Elsevier, Oxford, pp. 237-264. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444530806500152>
- Ferreya, H. (2011). Lead ammunition and pollution: an old problem worldwide recognized, neglected in Argentina. *El Hornero*, 26(1), 65-72.
- Franco, D. (2020). *Contaminación por Plomo*. Informe elaborado por la Comisión de Salud Ocupacional del Sindicato Médico del Uruguay. <https://www.smu.org.uy/sindicales/resoluciones/informes/plomo.pdf>
- García, A. J., & Navas, I. M. (2020). *Riesgos Tóxicos de la Munición de Plomo y sus Alternativas en la Actividad Cinegética*. Universidad de Murcia.
- García, J. J. V., & Navarrete, H. M. C. (2022). Fitorremediación como alternativa en remoción de metales pesados del suelo: Una revisión teórica. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 9(2), 15-31. https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/3104/2764
- Han, B., García-Mendoza, D., van den Berg, H., & van den Brink, N. W. (2020). Modulatory effects of Pb²⁺ on virally challenged chicken macrophage (HD-11) and B-lymphocyte (DT40) cell lines in vitro. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 39(5), 1060-1070.

- Hosseini Alhashemi, A. S., Karbassi, A. R., Hassanzadeh Kiabi, B., Monavari, S. M., Nabavi, S. M. B., & Sekhavatjou, M. S. (2011). Bioaccumulation of trace elements in trophic levels of wetland plants and waterfowl birds. *Biological trace element research*, 142, 500-516.
- Jin, S. D., Seo, S. G., Shin, Y. U., Bing, K. C., Kang, T. H., Paek, W. K., & Lee, D. P. (2012). Heavy metal accumulations of 4 species of Anseriformes in Korea. *Journal of Korean Nature*, 5(4), 345-349.
- Kalisińska, E., & Salicki, W. (2010). Lead and cadmium levels in muscle, liver and kidney of scaup *Aythya marila* from Szczecin Lagoon, Poland. *Polish Journal of Environmental*, 19(6), 1213-22.
- Kalisińska, E., Salicki, W., Mysłək, P., Kavetska, K. M., & Jackowski, A. (2004). Using the Mallard to biomonitor heavy metal contamination of wetlands in north-western Poland. *Science of The Total Environment*, 320(2-3), 145-161. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.08.014>
- Kaneko, J.J., & Ralston, N.V. (2007). Selenium and Mercury in Pelagic Fish in the Central North Pacific Near Hawaii. *Biological Trace Element Research*, 119(3), 242-254. <https://doi.org/10.1007/s12011-007-8004-8>
- Katavolos, P., Staempfli, S., Sears, W., Gancz, A. Y., Smith, D. A., & Bienzle, D. (2007). The effect of lead poisoning on hematologic and biochemical values in trumpeter swans and Canada geese. *Veterinary clinical pathology*, 36 (4), 341-347.
- Kearns, B., McDowell, S., Moon, J., Rigby, E., Conway, W. C., & Haukos, D. (2019). Distribution of contaminants in the environment and wildlife habitat use: a case study with lead and waterfowl on the Upper Texas Coast. *Ecotoxicology*, 28, 809-824.
- Kim, J., & Oh, J. M. (2013). Tissue distribution of metals in white-fronted geese and spot-billed ducks from Korea. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 91, 18-22.
- Kim, J., & Oh, J. M. (2014). Assessment of lead exposure in waterfowl species, Korea. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 67, 529-534.
- Kim, J., & Oh, J. M. (2014). Concentration of trace elements in feathers of waterfowl, Korea. *Environmental monitoring and assessment*, 186, 8517-8525.
- Kim, J., Kim, I. K., & Oh, J. M. (2016). Effect of embedded shot on trace element concentrations in livers of Anseriformes species. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 134, 38-42.
- Klopfer, P. H. (2014). An analysis of learning in young Anatidae. *Ecology*, 40(1), 90-102. <https://doi.org/10.2307/1929925>
- Korbecki, J., Gutowska, I., Chlubek, D., & Baranowska-Bosiacka, I. (2019).

- Lead (Pb) in the tissues of Anatidae, Ardeidae, Sternidae and Laridae of the Northern Hemisphere: a review of environmental studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 12631-12647.
- Kucharska, K., Binkowski, Ł. J., Zaguła, G., & Dudzik, K. (2022). Spatial, temporal and environmental differences in concentrations of lead in the blood of Mute swans from summer and winter sites in Poland. *Science of The Total Environment*, 830, 154698.
- Kumar, A., Kumar, A., MMS, C. P., Chaturvedi, A. K., Shabnam, A. A., Subrahmanyam, G., & Yadav, K. K. (2020). Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2179.
- Lam, S. S., McPartland, M., Noori, B., Garbus, S. E., Lierhagen, S., Lyngs, P., Dietz, R., Therkildsen, O.R., Christensen, T.K., Tjørnløv, R.S., Kanstrup, N., Fox, A.D., Sørensen, I.H., Arzel, C., Krøkje, Å., & Sonne, C. (2020). Lead concentrations in blood from incubating common eiders (*Somateria mollissima*) in the Baltic Sea. *Environment international*, 137, 105582.
- Lewis, N. L., Nichols, T. C., Lilley, C., Roscoe, D. E., & Lovy, J. (2021). Blood lead declines in wintering American black ducks in New Jersey following the lead shot ban. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 12(1), 174-182.
- Liang, J., Liu, J., Yuan, X., Zeng, G., Yuan, Y., Wu, H., & Li, F. (2016). A method for heavy metal exposure risk assessment to migratory herbivorous birds and identification of priority pollutants/areas in wetlands. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 11806-11813.
- Lodenius, M., & Solonen, T. (2013). The use of feathers of birds of prey as indicators of metal pollution. *Ecotoxicology*, 22(9), 1319-1334.
- Lohr, M. T., Hampton, J. O., Cherriman, S., Buseti, F., & Lohr, C. (2020). Completing a worldwide picture: preliminary evidence of lead exposure in a scavenging bird from mainland Australia. *Science of The Total Environment*, 715, 135913. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971935908X>
- Mansouri, B., & Majnoni, F. (2014). Comparison of the metal concentrations in organs of two bird species from western of Iran. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 92, 433-439.
- Martinez-Haro, M., Green, A. J., Acevedo, P., & Mateo, R. (2011). Use of grit supplements by waterbirds: an experimental assessment of strategies to reduce lead poisoning. *European Journal of Wildlife Research*, 57, 475-484.
- Martinez-Haro, M., Taggart, M. A., Martín-Doimeadiós, R. R., Green, A. J., & Mateo, R. (2011). Identifying sources of Pb exposure in waterbirds and effects on porphyrin

- metabolism using noninvasive fecal sampling. *Environmental Science & Technology*, 45(14), 6153-6159.
- Matamala, J., & Aguilar, F. (2007). Humedales Almerienses. *Centro de Estudios de Ecología y Medio Ambiente del Río Almanzora*.
- Mateo, R. (2009). *Lead poisoning in wild birds in Europe and the regulations adopted by different countries. Ingestion of lead from spent ammunition: implications for wildlife and humans*. In: Watson, R.T., Fuller, M., Pokras, M., & Hunt, W.G. (Eds.). *Ingestion of Lead from Spent Ammunition: Implications for Wildlife and Humans*. The Peregrine Fund, Boise, Idaho, USA. pp. 71-98. 10.4080/ilsa.2009.0107
- Mateo, R., & Belliure, J. (2017). Heavy Metal and metallothionein concentrations in tissues of Waterfowl Wintering in Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 33(3), 342-349.
- Mateo, R., & Guitart, R. (2003). Heavy metals in livers of waterbirds from Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 44, 398-404. <https://doi.org/10.1007/s00244-002-2040-3>
- Mateo, R., Green, A. J., Lefranc, H., Baos, R., & Figuerola, J. (2007). Lead poisoning in wild birds from southern Spain: a comparative study of wetland areas and species affected, and trends over time. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(1), 119-126.
- Mateo, R., Martínez-Vilalta, A., & Guitart, R. (1997). Lead shot pellets in the Ebro delta, Spain: densities in sediments and prevalence of exposure in waterfowl. *Environmental Pollution*, 96(3), 335-341. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(97\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(97)00046-8)
- Mateo, R., Petkov, N., Lopez-Antia, A., Rodríguez-Estival, J., & Green, A. J. (2016). Risk assessment of lead poisoning and pesticide exposure in the declining population of red-breasted goose (*Branta ruficollis*) wintering in Eastern Europe. *Environmental Research*, 151, 359-367.
- Mateo, R., Vallverdú-Coll, N., López-Antia, A., Taggart, M. A., Martínez-Haro, M., Guitart, R., & Ortiz-Santaliestra, M. E. (2014). Reducing Pb poisoning in birds and Pb exposure in game meat consumers: The dual benefit of effective Pb shot regulation. *Environment International*, 63, 163-168.
- Matthew, R. (2023). *Lead Poisoning in Wild Birds in Europe and the Regulations Adopted by different Countries*. Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos IREC (CSIC, UCLM, JCCM).
- Meissner, W., Binkowski, Ł. J., Barker, J., Hahn, A., & Trzeciak, M. (2020). Relationship between blood lead levels and physiological stress in mute swans (*Cygnus olor*) in municipal beaches of the southern Baltic. *Science of the Total Environment*, 710, 136292. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136292>

- Miyabayashi, Y., & Mundkur, T. (1999). *Atlas of key sites for Anatidae in the East Asian Flyway*. Wetlands International.
- Monclús, L., Shore, R. F., & Krone, O. (2020). Lead contamination in raptors in Europe: a systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 748, 141437. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141437>
- Mondain-Monval, J.Y., Defos du Rau, P., Guillemain, M., & Olivier, A. (2015). Switch to non-toxic shot in the Camargue, France: effect on waterbird contamination and hunter effectiveness. *European Journal of Wildlife Research*, 61, 271–283. <https://doi.org/10.1007/s10344-014-0897-x>
- Mukherjee, A., Pal, S., Das, P., & Mukhopadhyay, S. K. (2022). Heavy metal exposure to a migratory waterfowl, Northern Pintail (*Anas acuta*), in two peri-urban wetlands. *Science of The Total Environment*, 851, 158238.
- Muñoz, S. R. (2011). *Utilización de biomarcadores para evaluar los efectos de Hg y Pb en aves migratorias del noroeste de México*. (Tesis, Grado de Maestro en Ciencias). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/1010/1/ROOS-MU%3c3%91OZ-S11.pdf>
- Nam, D. H., & Lee, D. P. (2011). Mortality factors and lead contamination of wild birds from Korea. *Environmental monitoring and assessment*, 178, 161-169.
- Nam, D. H., Anan, Y., Ikemoto, T., & Tanabe, S. (2005). Multielemental accumulation and its intracellular distribution in tissues of some aquatic birds. *Marine pollution bulletin*, 50(11), 1347-1362.
- Nichols, J. D., & Johnson, F. A. (2016). The management of hunting of Anatidae. *Gibier Faune Sauvage, Game and Wildlife*, 13, 977–989. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/5210861>
- Norman, F.I. (1976) The incidence of lead shotgun pellets in waterfowl (Anatidae and Rallidae) examined in south-eastern Australia between 1957 and 1973. *Wildlife Research*, 3, 61-71. <https://doi.org/10.1071/WR9760061>
- O'Connell, M. M., Rees, E. C., Einarsson, O., Spray, C. J., Thorstensen, S., & O'Halloran, J. (2008). Blood lead levels in wintering and moulting Icelandic whooper swans over two decades. *Journal of Zoology*, 276(1), 21-27.
- Olney, P. J. S. (1960). Lead poisoning in wildfowl. *Wildfowl*, 11, 123-134. <https://wildfowl.wwt.org.uk/index.php/wildfowl/article/view/129/129>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (1997). *Lista Mundial de Vigilancia para la Diversidad de los Animales Domésticos*. (2° ed.), Roma, Italia. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7663715/#B37-ijerph-17-08113>

- Organización Panamericana de Salud-OPS. (2020). Plomo. <https://www.paho.org/es/temas/plomo>
- Ouassou, A., Dakki, M., El Agbani, M., Qninba, A., & El Hamoumi, R. (2021). Distribution and numbers of three globally threatened waterbird species wintering in Morocco: The Common pochard, Marbled teal, and White-headed duck. *International Journal of Zoology*, 2021, 1-17.
- Pain, D. J. (1990). Lead shot ingestion by waterbirds in the Camargue, France: an investigation of levels and interspecific differences. *Environmental Pollution*, 66(3), 273-285. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(90\)90007-Y](https://doi.org/10.1016/0269-7491(90)90007-Y)
- Pain, D.J., Fisher, I.J., Thomas, V.G., & Green, R.E. (2009). A Global Update of Lead Poisoning in Terrestrial Birds from Shooting with Lead-Based Ammunition. In: Watson, R.T., Fuller, M., Pokras, M., Hunt, W.G. (Eds). *Ingestion of Lead from Spent Ammunition: Implications for Wildlife and Humans* <https://www.peregrinefund.org/sites/default/files/Ingestion%20of%20Lead%20from%20Spent%20Ammunition.pdf>
- Pereda-Solis, M. E., Martinez-Guerrero, J. H., & Toca-Ramirez, J. A. (2012). Detection of zinc, lead, cadmium and arsenic in dabbling ducks from Durango, Mexico. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7, 761-766.
- Plaza, P. I., & Lambertucci, S. A. (2019). What do we know about lead contamination in wild vultures and condors? A review of decades of research. *Science of the Total Environment*, 654, 409-417. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.099>
- Plaza, P. I., Uhart, M., Caselli, A., Wiemeyer, G., & Lambertucci, S. A. (2018). A review of lead contamination in South American birds: The need for more research and policy changes. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 16(4), 201-207. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.08.001>
- Quy, R. (2010). *Review of evidence concerning the contamination of wildlife and the environment arising from the use of lead ammunition*. The Food and Environment Research Agency Report. 56 p.
- Rodrigues, P. (2013). *Análisis toxicológico y estudio histopatológico de las aves muertas por la catástrofe del petrolero "Prestige"*. Universidad de Santiago de Compostela.
- Rodríguez, M., & Palacios, J. (2018). Ánsar común—*Anser anser* (Linnaeus, 1758). En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Sanz, J.J., Amat, J.A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales. https://digital.csic.es/bitstream/10261/166746/1/ansans_v1.pdf
- Romano, M., Ferreyra, H., Ferreyroa, G., Molina, F. V., Caselli, A., Barberis, I., ... & Uhart, M. (2016). Lead pollution from waterfowl hunting in wetlands and rice fields

- in Argentina. *Science of the total environment*, 545, 104-113.
- Ross-Muñoz, S. (2011). *Utilización de biomarcadores para evaluar los efectos de Hg y Pb en aves migratorias del noroeste de México*. (Tesis de maestría). CIAD. <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/1010/1/ROOS-MU%C3%91OZ-S11.pdf>
- Salas, C., Garduño, M. A., Mendiola, P., Vences, J. H., Zetina, V. C., Martínez, O. C., & Ramos, M. D. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(1), 1-16.
- Saldivia, M. (2005). *Determinación de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb y Zn) en hígado y riñón de cisne de cuello negro (Cygnus melancoryphus), lucheillo (Egeria densa), sedimento y agua, recolectados en el santuario de la naturaleza Carlos anwandter y humedales adyacentes a la provincia de Valdivia*. (Tesis, Universidad Austral de Chile).
- Sato, H., Ishii, C., Nakayama, S. M., Ichise, T., Saito, K., Watanabe, Y., Ogasawara, K., Torimoto, R., Kobayashi, A., Kimura, T., Nakamura, Y., Yamagishi, J., Ikenaka, Y., & Ishizuka, M. (2022). Behavior and toxic effects of Pb in a waterfowl model with oral exposure to Pb shots: Investigating Pb exposure in wild birds. *Environmental Pollution*, 308, 119580. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119580>
- Scheuhammer, A. M., Perrault, J. A., Routhier, E., Braune, B. M., & Campbell, G. D. (1998). Elevated lead concentrations in edible portions of game birds harvested with lead shot. *Environmental Pollution*, 102(2-3), 251-257. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00083-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00083-9)
- Scheuhammer, A.M., Norris, S.L., & Osborn, D. (2019). The toxicology of mercury in wildlife: patterns of exposure and effects. *Ecotoxicology*, 8(4), 213-232.
- Schummer, M. L., Fife, I., Petrie, S. A., & Badzinski, S. S. (2011). Artifact ingestion in sea ducks wintering at northeastern Lake Ontario. *Waterbirds*, 34(1), 51-58.
- Schupp, T., Damm, G., Foth, H., Freyberger, A., Gebel, T., Gundert-Remy, U., & Wollin, K. M. (2020). Long-term simulation of lead concentrations in agricultural soils in relation to human adverse health effects. *Archives of Toxicology*, 94, 2319-2329.
- Sinkakarimi, M. H., Binkowski, L. J., Hassanpour, M., Rajaei, G., Ahmadpour, M., & Levengood, J. M. (2018). Metal concentrations in tissues of Gadwall and common teal from Miankaleh and Gomishan international wetlands, Iran. *Biological trace element research*, 185, 177-184.
- Sinka-Karimi, M. H., Pourkhabbaz, A. R., Hassanpour, M., & Levengood, J. M. (2015). Study on metal concentrations in tissues of Mallard and Pochard from two major

- wintering sites in Southeastern Caspian Sea, Iran. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 95, 292-297.
- Söderquist, P., Olsson, C., Birch, K., & Olsson, V. (2022). Evaluation of nutritional quality and sensory parameters of meat from mallard and four species of wild goose. *Foods*, 11(16), 2486.
- Solgi, E., Mirzaei-Rajeouni, E., & Zamani, A. (2020). Feathers of three waterfowl bird species from Northern Iran for heavy metals biomonitoring. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 104, 727-732.
- Spears, B., Hansen, J., & Audet, D. (2007). Blood lead concentrations in waterfowl utilizing Lake Coeur d'Alene, Idaho. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 52, 121-128.
- Sriram, A., Roe, W., & Gartrell, B. (2022). Blood lead concentration in an urban parrot: Nestling Kaka (*Nestor meridionalis*) demonstrates evidence of exposure to lead via eggs and parental feeding. *Science of The Total Environment*, 845, 157357. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157357>
- Stroud, D.A., & Davidson, N.C. (2010). The Conservation Status of Migratory Waterbirds in the East Asian-Australasian Flyway. *Slimbridge, UK: Wetlands International*. <https://www.wetlands.org/publications/eaaf-conservation-status-review1/>
- Sullivan, S., & Rodewald, A. (2012). In a state of flux: the energetic pathways that move contaminants from aquatic to terrestrial environments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(6), 1175-1183.
- Torimoto, R., Ishii, C., Sato, H., Saito, K., Watanabe, Y., Ogasawara, K., Kubota, A., Matsukawa, T., Yokoyama, K., Kobayashi, A., Kimura, T., Nakayama, S. M. M., Ikenaka, Y., & Ishizuka, M. (2021). Analysis of lead distribution in avian organs by LA-ICP-MS: Study of experimentally lead-exposed ducks and kites. *Environmental Pollution*, 283, 117086. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117086>
- Tsipoura, N., Burger, J., Newhouse, M., Jeitner, C., Gochfeld, M., & Mizrahi, D. (2011). Lead, mercury, cadmium, chromium, and arsenic levels in eggs, feathers, and tissues of Canada geese of the New Jersey Meadowlands. *Environmental research*, 111(6), 775-784.
- Tsuji, L. J., Nieboer, E., Karagatzides, J. D., Hanning, R. M., & Katapatuk, B. (1999). Lead shot contamination in edible portions of game birds and its dietary implications. *Ecosystem Health*, 5(3), 183-192. <https://doi.org/10.1046/j.1526-0992.1999.09929.x>
- Tsuji, L. J., Tsuji, S. R., Zuk, A. M., Davey, R., & Liberda, E. N. (2020). Harvest programs in first nations of subarctic Canada: the benefits go beyond addressing food security and environmental sustainability issues. *International journal of*

- environmental research and public health*, 17(21), 8113.
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135, 507-511.
- Vallverdú-Coll, N., López-Antia, A., Martínez-Haro, M., Ortiz-Santaliestra, M. E., & Mateo, R. (2015). Altered immune response in mallard ducklings exposed to lead through maternal transfer in the wild. *Environmental Pollution*, 205, 350-356.
- Vallverdú-Coll, N., Mateo, R., Mougeot, F., & Ortiz-Santaliestra, M. E. (2019). Immunotoxic effects of lead on birds. *Science of the total environment*, 689, 505-515.
- Vallverdú-Coll, N., Mougeot, F., Ortiz-Santaliestra, M. E., Rodríguez-Estival, J., López-Antia, A., & Mateo, R. (2016). Lead exposure reduces carotenoid-based coloration and constitutive immunity in wild mallards. *Environmental toxicology and chemistry*, 35(6), 1516-1525.
- Valverde, I., Espín, S., Navas, I., María-Mojica, P., Gil, J. M., & García-Fernández, A. J. (2019). Lead exposure in common shelduck (*Tadorna tadorna*): tracking the success of the Pb shot ban for hunting in Spanish wetlands. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 106, 147-151. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.05.002>
- Van Der Merwe, D., Carpenter, J. W., Nietfeld, J. C., & Miesner, J. F. (2011). Adverse health effects in Canada geese (*Branta canadensis*) associated with waste from zinc and lead mines in the Tri-State Mining District (Kansas, Oklahoma, and Missouri, USA). *Journal of wildlife diseases*, 47(3), 650-660.
- Wang, F., Xu, S., Zhou, Y., Wang, P., & Zhang, X. (2017). Trace element exposure of whooper swans (*Cygnus cygnus*) wintering in a marine lagoon (Swan Lake), northern China. *Marine pollution bulletin*, 119(2), 60-67.
- Wilson, H. M., Flint, P. L., & Powell, A. N. (2007). Coupling contaminants with demography: effects of lead and selenium in Pacific common eiders. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 26(7), 1410-1417.
- Wilson, H. M., Flint, P. L., Moran, C. L., & Powell, A. N. (2007). Survival of breeding Pacific common eiders on the Yukon-Kuskokwim Delta, Alaska. *The Journal of wildlife management*, 71(2), 403-410. <https://doi.org/10.2193/2005-776>
- Wood, K. A., Brown, M. J., Cromie, R. L., Hilton, G. M., Mackenzie, C., Newth, J. L., Pain, D., Perrins, C., & Rees, E. C. (2019). Regulation of lead fishing weights results in mute swan population recovery. *Biological Conservation*, 230, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.12.010>

