

## ENFOQUE ACTUAL PARA EL ESTUDIO DE LAS AVES EN LA COLECCIÓN ZOOLOGICA REGIONAL DEL ESTADO DE CHIAPAS

Marco Antonio Altamirano-González Ortega<sup>1</sup>✉, Ruth Partida-Lara<sup>2</sup> y José Raúl Vázquez-Pérez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural. Calzada de las Personas Ilustres s/n, 2 000, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

<sup>2</sup>Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX), Universidad Autónoma de Campeche. Calle, Av. Héroe de Nacozari 480, C.P. 24070, San Francisco de Campeche, Campeche, México.

<sup>3</sup>Programa de Doctorado en Ciencias en Biodiversidad y Conservación de Ecosistemas Tropicales, Instituto de Ciencias Biológicas, Libramiento Norte Poniente C.P. 2 03 , Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

✉ biomarc2002@yahoo.com.mx

### Resumen

En las colecciones ornitológicas, actualmente se emplean métodos donde ejemplares y datos están siendo utilizados de forma innovadora. Se presentan dos técnicas que recientemente se apoyan en la Colección Zoológica Regional, sección aves, del estado de Chiapas, sobre aproximaciones morfológicas mediante medición alar y sobre la detección y rastreo de contaminantes ambientales en plumas. A diferencia del enfoque tradicional, esta nueva perspectiva fortalece el interés en la investigación asociada a las colecciones ornitológicas y contribuye con la realización de estudios que permitan conocer desde la evolución y diversidad avifaunística, hasta generar recomendaciones para solución de problemas ambientales.

**Palabras clave:** colecciones ornitológicas, técnicas de estudio, morfología, contaminantes ambientales.

### Abstract

In ornithological collections, methods are currently being used where specimens and data are being used in innovative ways. Two techniques have recently been used in the Regional Zoological Collection bird section of the state of Chiapas: morphological approximations through wing measurements and the detection and tracking of environmental contaminants in feathers. Unlike the traditional approach, this new perspective strengthens the interest in research associated with ornithological collections and contributes to the realization of studies that allow us to learn about the evolution and diversity of birds as well as to generate recommendations for solving environmental problems.

**Keywords:** ornithological collection, study techniques, morphology, environmental contaminants.

### INTRODUCCIÓN

El conocimiento erróneo que se tenía sobre las colecciones biológicas provocaba que fueran consideradas como depósitos recónditos de ejemplares inertes, que solamente documentan aspectos históricos de las especies que resguardan (Cristín y Perriliat, 2011, Kamenski *et alii*, 2016). Históricamente, ha existido desconocimiento de la utilidad de la información que estos acervos aportan a la ciencia. Sin embargo, a la fecha se les considera sitios que pueden proporcionar evidencia clave para iniciativas de conservación de la biodiversidad (Hilton *et alii*,

2021). Investigadores asociados con el trabajo de curación y manejo que se realiza en las colecciones biológicas, reconocen a estas como fundamentales para la investigación moderna (Navarro-Sigüenza *et alii*, 2008).

Actualmente el desarrollo de la genómica, otras ciencias y nuevas técnicas empleadas para el estudio de las colecciones biológicas, han detonado el interés en el estudio de estos reservorios (Webster, 2017). El trabajo realizado recientemente en muchas de las colecciones biológicas con el manejo de metadatos se utiliza, por ejemplo, para potentes análisis de las

distribuciones de las especies, de tipo demográfico y sobre migración (Joseph y Stockwell, 2000; Ricklefs *et alii*, 2011). Este tipo de estudios ha despertado el interés en nuevas técnicas, que han profundizado en su utilidad y en revalorar a las colecciones biológicas y de esta manera sean consideradas para dar respuesta a interrogantes ambientales y evolutivas complejas.

En este reciente enfoque de las colecciones biológicas, particularmente las ornitológicas, están pasando de ser consideradas depósitos ocultos de especímenes viejos y abandonados a sitios de investigación moderna, donde el objetivo de comprender y preservar la diversidad de aves se realiza con métodos bajo técnicas recientes y los ejemplares y sus datos están siendo utilizados de una forma nueva (Webster, 2017). Junto a otros acervos de México, la Colección Zoológica Regional, sección Aves (CZRAV), de la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural de Chiapas, se encuentre en franca adopción de este nuevo enfoque.

#### TÉCNICAS ACTUALES PARA EL ESTUDIO EN COLECCIONES ORNITOLÓGICAS

Algunas de las técnicas que se utilizan en las colecciones ornitológicas en el mundo, se enfocan en la investigación de la anatomía interna y externa de los ejemplares recolectados (Figura 1), como son análisis de pigmentos, coloraciones, registros acústicos, simbiontes asociados, isótopos y contaminantes ambientales, así como métodos para extraer y analizar el ADN. Además de la tradicional toma de medidas morfológicas para comprender la función de estructuras anatómicas, se realizan análisis fotográficos para generar imágenes en tercera dimensión y se utiliza ampliamente la informática de la diversidad de las aves, con énfasis en utilizar datos a escala global y de alta calidad (Webster, 2017).

Las técnicas actuales requieren en su mayoría de infraestructura especializada y conocimientos que van más allá de tan solo reconocer y manipular los ejemplares físicos (Webster y Budney, 2016). Muchas de estas técnicas necesitan de insumos costosos y de personal altamente capacitado. Sin embargo, existen otras técnicas que pueden llevarse a cabo con recursos humanos con los conocimientos fundamentales en ornitología y de la propia técnica que se emplea, donde el apoyo entre instituciones académicas y de otros acervos científicos posibilitan y amplían las capacidades de análisis. En este grupo de técnicas se encuentran la generación de aproximaciones morfológicas para determinar el rendimiento de vuelo y la capacidad de dispersión. La detección, cuantificación y rastreo de contaminantes ambientales es un proceso de alto precio, sin

embargo, los costos se minimizan mediante alianzas entre instituciones con los recursos y el equipo necesario para realizarlos. A continuación, se señalan generalidades de estas dos técnicas, que se están implementando actualmente en la CZRAV.

#### Aproximaciones morfológicas

Estimar la capacidad de dispersión de las aves es una actividad complicada de llevar a cabo, ya que se requiere de equipo costoso o métodos que demandan alta inversión de tiempo, como rastreadores satelitales y marca-recaptura (Sheard *et alii*, 2020; Arango *et alii*, 2022). Otra alternativa es realizar la toma de datos biométricos alares de individuos depositados en acervos científicos. Al respecto, se considera que la distancia media de vuelo de un ave está estrechamente asociada con la morfología del ala (Claramunt *et alii*, 2011; Kennedy *et alii*, 2016; Sheard *et alii*, 2020; Arango *et alii*, 2022). Para analizar esta asociación se aplica una técnica de aproximación morfológica, la cual se caracteriza por basarse en medidas de ejemplares de colecciones biológicas y la aplicación de índices denominados proxy, donde los más utilizados se enfocan en la medición de la forma y el área del ala (Claramunt *et alii*, 2011).

La forma del ala se estima comúnmente con el índice mano-ala (*Hand-Wing Index*) propuesto por primera vez por Kipp (1959). La técnica consiste en aplicar un índice de relación de aspecto del ala mediante la fórmula  $1=100 Dk/Lw$ , donde  $Lw$  es la longitud del ala cerrada, es decir, la medida desde la articulación del carpo hasta la punta de la primaria más larga (Stiles y Altshuler, 2012) y  $Dk$  es la distancia entre la punta de la primaria más larga y la punta de la primera secundaria (Figura 2).



Figura 1. Muestra de ejemplares de aves recolectadas y depositadas en la CZRAV. Foto: Marco A. Altamirano G.O.

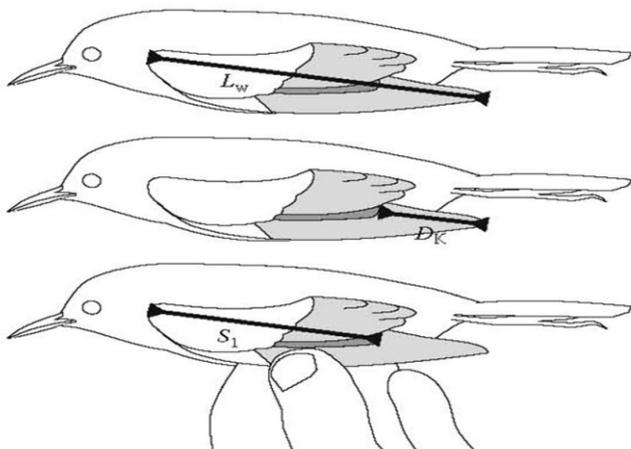


Figura 2. Medidas lineares utilizadas para estimar el índice mano-ala (*Hand-Wing Index*) y el área del ala (*Wing Area Index*). Tomado de Claramunt y Wright (2018) <<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781315120454-8/using-museum-specimens-study-flight-dispersal-1-santiago-claramunt-natalie-wright>>

Considerando que las alas extendidas de las aves generalmente tienen la forma de una cuarta parte de una elipse, otro parámetro que se calcula es el área del ala (*Wing Area Index*) que se estima comúnmente como el área de una elipse dividida entre cuatro (Wright *et alii*, 2014), mediante la fórmula  $LwS1 \pi/4$ , donde  $Lw$  es la longitud del ala cerrada y  $S1$  es la distancia entre la articulación del carpo y la punta de la primera secundaria, que se aproximan al semieje de la elipse (Figura 2). Mediante estas aproximaciones es posible estimar el potencial del rendimiento de vuelo y la capacidad de dispersión de las aves, considerando que a mayor valor de los índices mayor es la capacidad de dispersión de las especies (Webster, 2017). Capurcho *et alii* (2020) utilizaron el índice mano-ala (*Hand-Wing Index*) y encontraron una correlación entre el tamaño del área de distribución de las aves y su capacidad de dispersión.

#### Detección y rastreo de contaminantes ambientales

Las aves son organismos bioindicadores de la calidad del ambiente, ya que presentan alta sensibilidad a la contaminación química. Debido a la gran diversidad de hábitos alimenticios que tienen, son eslabones de las redes tróficas por donde circulan los nutrientes y también los contaminantes (Sekercioğlu, 2006; Egerer *et alii*, 2018). Las aves rapaces fueron las primeras especies de aves que se utilizaron para evaluar la contaminación ambiental por estar en el tope de las redes tróficas

(Figura 3), ser longevas y tener un amplio rango de hábitats de alimentación (Donald *et alii*, 2001; Gómez-Ramírez *et alii*, 2014; Movalli *et alii*, 2017). No obstante, las aves de niveles inferiores también han permitido evaluar de manera confiable la contaminación generada por metales pesados y otros contaminantes químicos (Chapa-Vargas *et alii*, 2010; Kiere *et alii*, 2021).

Los especímenes de colecciones científicas han contribuido en la evaluación de los niveles históricos de contaminantes (Westermarck *et alii*, 1975; Appelquist *et alii*, 1984; Odsjö, 2006). Algunos estudios históricos de contaminantes que se han evaluado a través de las plumas de las aves son en metales pesados, insecticidas (DDT), herbicidas (atrazina) y perfluoroalquilos (PFAS), que son un grupo de sustancias químicas que se utilizaban como retardantes de fuego (Berg *et alii*, 1966; Hickey y Anderson, 1968; Dietz *et alii*, 2009; Sun *et alii*, 2019). Los metales pesados están presentes de forma natural en todos los ambientes, son persistentes, se bioacumulan y algunos se pueden biotransformar en compuestos altamente tóxicos (Head *et alii*, 2011).

Existen dos maneras de evaluar contaminantes como los metales pesados: la técnica destructiva que consiste en sacrificar al organismo para analizar tejidos internos (hígado, riñón, cerebro, músculo y grasas) y la técnica no destructiva que consiste en analizar plumas, huevos podridos y excremento (Abdullah *et alii*, 2015). Durante el proceso de formación de las plumas los contaminantes son transportados a través del torrente sanguíneo y depositados (Dauwe *et alii*, 2003). El organismo realiza esta deposición de contaminantes en las plumas



Figura 3. Aves rapaces alimentándose en basurero.

como un mecanismo de desintoxicación de elementos dañinos. Las plumas nos dan información puntual de la contaminación de un determinado sitio y año, aconsejándose analizar especies residentes para determinar la contaminación local (González *et alii*, 2018).

Algunas investigaciones señalan que, las concentraciones de contaminantes que se registran en órganos como hígado y riñones son similares a las que se obtienen de plumas (Dauwe *et alii*, 2000; Chapa-Vargas *et alii*, 2010; Jaspers *et alii*, 2019; Sun *et alii*, 2019). Sin embargo, en un análisis reciente se señala que a pesar de los beneficios reconocidos en el uso de plumas para determinar bioacumulación, en menos del 1% de los estudios realizados se ha considerado el uso de estas estructuras (Kuo *et alii*, 2022). Probablemente, se deba a que tanto hígado como riñones han sido evidenciados como excelentes órganos bioacumuladores de contaminantes en aves (Estrada-Guerrero y Soler-Tovar, 2014). No obstante, se ha señalado a las plumas de las aves como unidades de monitoreo con amplias ventajas para la detección de contaminantes ambientales, además, su obtención no ocasionan daños directos a los individuos o a las poblaciones (Zhang y Ma, 2011) y se pueden analizar contaminantes en especies que están bajo alguna categoría de conservación.

#### INVESTIGACIONES RECIENTES EN LA CZRAV BAJO UN NUEVO ENFOQUE DE ESTUDIO

La CZRAV tuvo su origen hace 80 años. En ella se preservan 7,123 ejemplares de más de 500 especies de aves de las 699 registradas en Chiapas. Entre los años 2021 y 2023, las consultas a la CZRAV se han diversificado a las que frecuentemente se solicitaban y que se relacionaban con responder principalmente incógnitas sobre la distribución de las especies de aves y sobre su ubicación taxonómica. Actualmente, se atienden requerimientos de información, de imágenes y de partes de ejemplares seleccionados para realizar investigaciones con el enfoque de contribuir al conocimiento y a la solución de problemas ambientales, utilizando técnicas modernas para los estudios que se emplean en las colecciones ornitológicas del mundo.

Una de las investigaciones que está utilizando ejemplares de la CZRAV forma parte del proyecto de doctorado “Densidad poblacional, rasgos ecológicos e interacciones de aves frugívoras y árboles en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México”, que se desarrolla en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Uno de los objetivos de esta investigación es determinar asociaciones entre los rasgos ecológicos y morfoló-

gicos de las aves y la estructura de la selva mediana con diferente grado de disturbio antropogénico. Esta investigación no es de carácter destructivo, ya que se basa en la toma de medidas alares (Figura 4A y B) y la aplicación de fórmulas diseñadas *ad hoc* para la determinación de las aproximaciones.

Entre las variables explicativas que se están analizando en el proyecto está la capacidad de dispersión de las aves. Esta capacidad es medida en relación con el aspecto del ala obtenido con el índice mano-ala (*Hand-Wing Index* o HWI). Para estimarla se tomaron medidas alares de ejemplares recolectados y posteriormente se incluyeron en la fórmula del índice HWI. Los datos obtenidos para este índice y otros rasgos morfológicos (*e.g.*, tamaño, pico) y ecológicos (*e.g.*, gremio, estacionalidad) se vinculan con la abundancia poblacional de las aves y la estructura de la vegetación. Con esta información y análisis estadísticos se pretende determinar cuáles son los rasgos morfológicos y ecológicos que están asociados a la ocurrencia de las especies en un gradiente de disturbio en selva mediana.

Otro de los estudios desarrollados en la CZRAV corresponde a la detección y rastreo espacio-temporal de contaminantes ambientales, que fue realizado como parte de las actividades de una estancia posdoctoral por parte de una investigadora proveniente del Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX), de la Universidad Autónoma de Campeche y bajo el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT). Para ello se recolectaron plumas corporales de aves Accipitriformes, Apodiformes, Coraciiformes, Passeriformes y Strigiformes depositadas en la CZRAV.

La técnica consiste en recolectar entre 0.01 a 3 gramos de plumas corporales (Figura 4C), que se conservan en bolsas de plástico herméticas a las cuales se les colocan etiquetas de identificación individual (Figura 4D) y posteriormente se trasladaron al laboratorio. Las muestras se colocan en detergente Triton X-100 (1%) por 48 horas y posteriormente son enjuagadas con agua desionizada, para después ser secadas en un horno por 24 horas a 55°C (Dauwe, 2000). Este proceso elimina agentes químicos derivados del manejo de las aves en la colección y contaminantes a los que estuvieron expuestas en vida. Después, las plumas se sumergen en ácido nítrico y ácido clorhídrico por un periodo de 24 a 48 horas, con el fin de disolver la queratina de las plumas (digestión). Posteriormente, las plumas son secadas nuevamente y se pesan en una balanza analítica. El análisis de concentración de los metales pesados se realiza con la técnica electroquímica de voltamperometría diferencial de pulso anódico (Maciel *et alii*, 2019), que utiliza



Figura 4. A) Toma de medida de la longitud del ala cerrada ( $Lw$ ), desde la articulación del carpo hasta la punta de la primaria más larga. B) Toma de medida de la longitud de la distancia entre la punta de la primaria más larga y la punta de la primera secundaria ( $Dk$ ). C) Toma de muestras de plumas corporales de las aves en la CZRAV. D) Pesado de muestras de plumas, para su posterior traslado al laboratorio y detección de contaminantes ambientales. Fotografías A-C: Marco A. Altamirano G.O. Fotografía D: Ruth Partida Lara.

como referencia un electrodo de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl) con cloruro de potasio (KCl) y como auxiliar un electrodo de platino (Pt). Los metales pesados que pueden analizarse con esta técnica son zinc (Zn), cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu), hierro (Fe) y el metaloide arsénico (As). Las concentraciones de metales y metaloides se reportan en unidades de microgramos por gramo. A pesar de depender de la extracción de plumas del ave, la técnica no es destructiva ya que solamente requiere de pequeñas muestras corporales.

Con esta técnica se obtuvieron muestras de plumas de ejemplares recolectados entre los años 1957 al 2008, tanto de la colección ornitológica de la CZRAV como de la colección de aves de la Universidad Nacional Autónoma de México, pertenecientes a cinco especies: cacique pico claro (*Amblycercus*

*holosericeus*), mosquero Atila (*Attila spadiceus*), piranga hormiguera garganta roja (*Habia fuscicauda*), mirlo café (*Turdus grayi*) y trepatroncos bigotudo (*Xiphorhynchus flavigaster*). Todas presentaron metales pesados, siendo los valores más altos para arsénico ( $6.3 \pm 3 \mu\text{g/g}$ ) en *X. flavigaster*, mercurio ( $12.8 \pm 7 \mu\text{g/g}$ ) en *H. fuscicauda* y plomo ( $1.5 \pm 2.4 \mu\text{g/g}$ ) en *A. holosericeus*, para la región zoque Selva El Ocote en Chiapas. Las concentraciones registradas en las aves se encuentran entre los rangos de no letal a envenenamiento tóxico sub-letal alto, lo que nos indica que se requiere realizar análisis con muestras actuales que nos permitan evaluar cambios temporales de las concentraciones de metales y determinar los riesgos a los que están expuestas la fauna silvestre y la población humana.

## FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN ORNITOLÓGICA CON BASE EN LAS COLECCIONES CIENTÍFICAS

Los adelantos que se han evidenciado en la generación de conocimientos sobre diferentes temáticas, más allá de la anatomía y la información asociada a la ecología de los ejemplares depositados en una colección ornitológica, indican un futuro promisorio para su investigación. Su progreso dependerá del crecimiento en recursos humanos y financieros para la aplicación de técnicas adecuadas, que permitan realizar estudios de actualidad en respuesta a interrogantes ambientales y evolutivas complejas. La creación de grupos de trabajo de investigadores asociados a las colecciones, podrían además revalorar su utilidad mediante un nuevo enfoque de investigación y de difusión de los resultados.

Aunado al creciente interés por el estudio y la protección de la avifauna que recientemente ha despuntado en el estado de Chiapas, sobresale la participación de investigadores que actualmente consultan la CZRAV, sobre todo los que realizan estudios de especialización y posgrado en diferentes temáticas relacionadas con las aves y sus problemáticas. Sin embargo, es necesario propiciar el interés en la investigación asociada a las colecciones ornitológicas desde el nivel licenciatura, ya que a futuro permitirá la generación de estudios más robustos que además de documentar la evolución y la diversidad de las aves, aporten recomendaciones para la solución de problemas ambientales globales.

### LITERATURA CITADA

- Abdullah M., Fasola M., Muhammad A., Malik S.A., Bostan N., Bokhari H. & Eqani S.A., 2015. Avian feathers as a non-destructive bio-monitoring tool of trace metals signatures: A case study from severely contaminated areas. *Chemosphere*, 119: 553-561. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.06.068.
- Appelquist H., Asbirk S. & Drabæk I., 1984. Mercury monitoring: Mercury stability in bird feathers. *Marine Pollution Bulletin*, 15:22-24.
- Arango A., Pinto-Ledezma J., Rojas-Soto O., Lindsay A.M., Mendenhall CH.D. & Villalobos F., 2022. Hand-Wing Index as a surrogate for dispersal ability: the case of the Emberizoidea (Aves: Passeriformes) radiation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 137: 137-144.
- Berg W., Johnels A., Sjostrand B. & Westermark T. 1966. Mercury contamination in feathers of Swedish birds from the past 100 years. *Oikos*, 17: 71-83.
- Capurro J.M., Ashley M., Tsuru B., Cooper J. & Bates J., 2020. Dispersal ability correlates with range size in Amazonian habitat-restricted birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287: 28720201450.
- Chapa-Vargas L., Mejía-Saavedra J.J., Monzalvo-Santos K. & Puebla-Olivares F., 2010. Blood lead concentrations in wild birds from a polluted mining region at Villa de La Paz, San Luis Potosí, Mexico. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 45: 90-98.
- Claramunt S., Derryberry E.P., Remsen J.V. Jr., & Brumfield R.T., 2011. High dispersal ability inhibits speciation in a continental radiation of passerine birds. *Proceedings of the Royal Society B*, 279:1567-1574.
- Claramunt S. & Wright. N.A., 2018. *Using museum specimens to study flight and dispersal*, en Webster M.S. (ed.), *The Extended specimen: Emerging frontiers in collections-based ornithological research*. Studies in Avian Biology (no. 50), CRC Press, Boca Raton, FL: 127-141.
- Cristín A. & Perrilliat M.C., 2011. Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(3): 421-427.
- Dauwe T., Bervoets L., Pinxten R., Blust R. & Eens M., 2003. Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: Effects of molt and external contamination. *Environmental Pollution*, 124(3): 429-436. DOI: 10.1016/S0269-7491(03)00044-7.
- Dietz R., Outridge P.M. & Hobson K.A., 2009. Anthropogenic contributions to mercury levels in present-day Arctic animals-a review. *Science of the Total Environment*, 407: 6120-6131.
- Donald P.F., Green R.E. & Heath M.F., 2001. Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 268: 25-29.
- Egerer M.H., Fricke E.C. & Rogers H.S., 2018. Seed dispersal as an ecosystem service: frugivore loss leads to decline of a socially valued plant, *Capsicum frutescens*. *Ecological Applications*, 28: 655-667.
- Estrada-Guerrero D.M. & Soler-Tovar D., 2014. Las aves como bioindicadores de contaminación por metales pesados en humedales: Birds as bioindicators of heavy metal contamination in wetlands. *Ornitología Colombiana*, 14: 145-160.
- Gómez-Ramírez P., Shore R.F., van den Brink N.W., van Hattum B., Bustnes J.O., Duke G., Fritsch C., García-Fernández A.J., Helander B.O., Jaspers V., Krone O., Martínez-López E., Mateo R., Movalli P. & Sonne C., 2014. An overview of existing raptor contaminant monitoring activities in Europe. *Environmental International*, 67: 12-21.
- González D., Álvarez Bernal D., Mora M., Buelna-Osben H.R. & Ruelas-Insunza J. R., 2018. Biomonitoring de metales pesados en plumas de aves acuáticas residentes del lago de Chapala, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(2): 215-224.
- Head J.A., DeBofsky A., Hinshaw J. & Basu N., 2011. Retrospective analysis of mercury content in feathers of birds collected from the state of Michigan (1895-2007). *Ecotoxicology*, 20: 1636-1643.
- Hickey J.J. & Anderson D.W., 1968. Chlorinated hydrocarbons and eggshell changes in raptorial and fish-eating birds. *Science*, 162: 271-273.
- Hilton E.J., Watkins-Colwell G.J. & Huber S.K., 2021. The expanding role of natural history collections. *Ichthyology & Herpetology*, 109(2): 379-391.
- Jaspers V.L.B., Covaci A., Herzke D., Eulaers I. & Eens M., 2019. Bird feathers as a biomonitor for environmental pollutants: Prospects and pitfalls. *Trends in Analytical Chemistry*, 118: 223-226.
- Joseph L. & Stockwell D., 2000. Temperature based models of the migration of Swainson's Flycatcher *Myiarchus swainsoni* across South America: a new use for museum specimens of migratory birds. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences*, 150: 293-300.
- Kamenski P.A., Sazonov A.E., Fedyanin A.A. & Sadovnichy V.A., 2016. Biological collections: Chasing the ideal. *Acta Naturae (англоязычная версия)*, 8(2(29)): 6-9.
- Kennedy J.D., Borregaard M.K., Jønsson K.A., Marki P.Z., Fjeldsa J. & Rahbek C., 2016. The influence of wing morphology upon the dispersal, geographical distributions and diversification of the Corvidae (Aves; Passeriformes). *Proceedings of the Royal Society B*, 283: 20161922.
- Kiere L.M., Osorio-Beristain M., Sorani V., Prieto-Torres D.A., Navarro-Sigüenza A.G. & Sánchez-González L.A., 2021. Do metal mines and their runoff affect

- plumage color? Streak-backed Orioles in Mexico show unexpected patterns. *Ornithological applications* 123:1–18.
- Kipp F.A., 1959. Der Handflügel-Index als flugbiologisches Maß. *Die Vogelwarte*, 20: 77–86.
- Kuo D.T., Rattner B.A., Martenson S.C., Letcher R., Fernie K.J., Treu G., Deutsch M., Johnson M.S., Deglin S. & Embry M., 2022. A critical review of bioaccumulation and biotransformation of organic chemicals in birds. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 260(1): 1-55.
- Maciel J.V., Souza M.M., Silva L.O. & Dias D., 2019. Direct determination of Zn, Cd, Pb and Cu in wine by differential pulse anodic stripping voltammetry. *Beverages*, 5 (6): 1-7.
- Movalli P., Dekker R., Koschorreck J. & Treu G., 2017. Bringing together raptor collections in Europe for contaminant research and monitoring in relation to chemicals regulations. *Environmental Science and Pollution Research*, 24: 24057–24060.
- Navarro-Sigüenza A.G., Ortiz-Pulido R. & Peterson A.T., 2008. Un panorama breve de la historia de la ornitología mexicana. *Ornitología Neotropical*, 19 (Supplement): 367-379.
- Odsjö T., 2006. The environmental specimen bank, Swedish Museum of Natural History—A base for contaminant monitoring and environmental research. *Journal of Environmental Monitoring*, 8: 791–794.
- Ricklefs R.E., Tsunekage T. & Shea R.E., 2011. Annual adult survival in several new world passerine birds based on age ratios in museum collections. *Journal of Ornithology*, 152: 481–495.
- Sekercioglu C.H., 2006. Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in Ecology & Evolution*, 21: 464–471.
- Sheard C., Neate-Clegg M.H.C., Alioravainen N., Jones S.E.I., Vincent C., MacGregor H.E.A., Bregman T.P., Claramunt S. & Tobias J.A., 2020. Ecological drivers of global gradients in avian dispersal inferred from wing morphology. *Nature Communications*, 11: 2463.
- Stiles F.G. & Altshuler D.L., 2012. Conflicting terminology for wing measurements in ornithology and aerodynamics. *Auk*, 121: 973–976.
- Sun J., Bossi R., Bustnes J.O., Helander B., Boertmann D., Rune Dietz R., Herzke D., Jaspers V.L.B., Labansen A.L., Lepoint G., Schulz R., Sonne C., Thorup K., Anders P. Tøttrup A.P., Zubrod J.P., Eens M. & Eulaers I., 2019. White-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*) body feathers document spatiotemporal trends of perfluoroalkyl substances in the northern environment. *Environmental Science & Technology* 53:12744–12753.
- Webster M.S. 2017. The extended specimen, en Webster M.S. (ed.), *The Extended Specimen: Emerging Frontiers in Collections-based Ornithological Research*. Studies in Avian Biology (no. 50), CRC Press, Boca Raton, FL.: 1–9.
- Webster M.S. & Budney G.F., 2016. Sound archives and media specimens in the 21st century, en Brown C.H. & Riede T. (eds.), *Comparative bioacoustic methods*. Bentham Science Publishers, Oak Park, IL.: 462–485.
- Westermark T., Odsjö T. & Johnels A.G., 1975. Mercury content of bird feathers before and after Swedish ban on alkyl mercury in agriculture. *Ambio*, 4: 87–92.
- Wright N.A., Gregory T.R. & Witt C.C., 2014. Metabolic “engines” of flight drive genome size reduction in birds. *Proceedings of the Royal Society B*, 281: 20132780.
- Zhang W.W. & Ma J.Z., 2011. Waterbirds as bioindicators of wetland heavy metal pollution. *Procedia Environmental Sciences*, 10: 2769-2774.

Recibido: 07 de julio de 2024  
Aceptado: 20 de septiembre de 2024