






Bioacumulación de mercurio y plomo en el pato *Dendrocygna autumnalis* en la subregión de la Mojana, Colombia

Jorge Buelvas-Soto¹ ; Siday Marrugo-Madrid¹ ; José Marrugo-Negrete^{1*} .

¹Universidad de Córdoba, Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental, Grupo de Química del Agua, Aplicada y Ambiental, Montería, Colombia.

*Correspondencia: jmarrugo@correo.unicordoba.edu.co

Recibido: Abril 2021; Aceptado: Octubre 2021; Publicado: Diciembre 2021.

RESUMEN

Objetivo. La Mojana es una zona biodiversa de humedales que se ubica en la región Caribe, siendo el hábitat de numerosas especies. La minería, aguas arriba, y las actividades agrícolas han generado la acumulación de metales pesados en estos ecosistemas. Se determinaron las concentraciones de mercurio (Hg) y plomo (Pb) en 47 muestras de sangre y plumas de *Dendrocygna autumnalis* (Pisingo) en dos sitios de La Mojana, Colombia. **Materiales y métodos.** Las concentraciones de Hg y Pb en sangre y plumas se cuantificaron mediante espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) y espectrometría de absorción atómica en horno de grafito (GFAAS), respectivamente. **Resultados.** Las más altas concentraciones de Hg y Pb en plumas y sangre fueron 475.4 ± 180.5 ng/g, 873.59 ± 412.06 ng/g y 9.87 ± 10.6 ng/mL, 218.5 ± 216.6 ng/mL, respectivamente. El 100% de las muestras de plumas de los individuos capturados sobrepasó el límite permisible de 40 ng/g para Hg en carne de pato establecido por la Unión Europea. Así mismo, el 47% de las muestras de sangre y el 53% de las de plumas de los individuos capturados excedieron los límites permisibles para plomo en carne de pato de 100 ng/g de la Unión Europea. **Conclusiones.** Las actividades mineras y agrícolas han generado procesos de acumulación de metales pesados en *Dendrocygna autumnalis*, lo cual representa una amenaza para la conservación de esta especie y un riesgo a la salud por consumo para los habitantes de la región.

Palabras clave: Aves; bioindicadores; humedales; metales pesados; minería; toxicología ambiental (Fuentes: *Tesaurus ICYT de Biología Animal*, *Tesaurus ambiental para Colombia*).

ABSTRACT

Objective. La Mojana is a biodiverse area of wetlands that is in the Caribbean region, being the habitat of numerous species. Mining, upstream, and agricultural activities have generated the accumulation of heavy metals in these ecosystems. Mercury (Hg) and Lead (Pb) concentrations in 47 samples of blood and feathers of *Dendrocygna autumnalis* (Pisingo) were determined in two sites at the Mojana, Colombia. **Materials and methods.** Concentrations of Hg and Pb in blood and feathers were quantified using Cold Vapor-Atomic Absorption Spectrophotometry (CVAAS) and graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS), respectively. **Results.** The highest concentrations of Hg

Como citar (Vancouver).

Buelvas-Soto J, Marrugo-Madrid S, Marrugo-Negrete J. Bioacumulación de mercurio y plomo en el pato *Dendrocygna autumnalis* en la subregión de la Mojana, Colombia. Rev MVZ Córdoba. 2022; 27(1):e2337. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2337>



©El (los) autor (es) 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

and Pb in feathers and blood were 475.4 ± 180.5 ng/g, 873.59 ± 412.06 ng/g and 9.87 ± 10.6 ng/mL, 218.5 ± 216.6 ng/mL, respectively. 100% of the feather samples from the captured individuals exceeded the permissible limit of 40 ng/g for Hg in duck meat established by the European Union. Likewise, 47% of the blood samples and 53% of the feathers from the captured individuals exceeded the European Union permissible limits for lead in duck meat of 100 ng/g. **Conclusions.** Mining and agricultural activities have generated heavy metal accumulation processes in *Dendrocygna autumnalis*, which represents a threat to the conservation of this species and a risk to the health of the inhabitants of the region due to its consumption.

Keywords: Birds; bioindicators; wetlands; heavy metals; mining; Environmental toxicology (*Sources: ICYT Animal Biology Thesaurus, Environmental Thesaurus for Colombia*).

INTRODUCCIÓN

La ecorregión de La Mojana representa uno de los sistemas de humedales más importantes del Caribe Colombiano, la cual se origina por la interacción de las cuencas de tres ríos: Cauca, Magdalena y San Jorge (1). Estos humedales ocupan 30.781.149 hectáreas del país (2), de los cuales, 760.340 hectáreas están reconocidos como territorios RAMSAR (3), ecosistemas con una vasta biodiversidad que son fundamentales en los ciclos ecológicos, además de brindar servicios ecosistémicos a las poblaciones humanas asociadas a ellos (4).

La biodiversidad y ecosistemas de La Mojana han sido afectados por la minería aurífera, la cual descarga metales pesados en los ríos San Jorge, Cauca y Magdalena. Dichos ríos circundan los humedales de la región de La Mojana y transportan los metales pesados hasta esta (1).

Un gran número de estudios han registrado altos niveles de contaminación por metales pesados como As, Cr, Cd, Hg, Pb, Ni, en diversos componentes ecosistémicos de La Mojana. Se ha registrado concentraciones de metales pesados en sedimentos y materia orgánica tales como Cu (48400 ng/g), Zn (79200 ng/g), Ni (58100 ng/g), Pb (3200 ng/g), Cd (560 ng/g), Mn (41100 ng/g), y Hg (100 ng/g) (5), concentraciones de HgT de 0.097 ± 0.049 µg/g en sedimentos, 0.191 ± 0.017 µg/g en macrófitas (1), 17.05 ng/g en arroz (6), en peces como *Caquetaia kraussi* (150 ± 57 ng/g), *Hoplias malabaricus* (239 ± 67 ng/g), *Plagioscion surinamensis* (578 ± 392 ng/g) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (568 ± 224 ng/g) (1).

Dicha contaminación tiene su origen principalmente en la minería del oro y en los insumos agroquímicos utilizados en los cultivos de interés comercial (1). De los metales pesados que generan procesos de contaminación en

La Mojana revisten gran importancia por su abundancia, distribución y efectos en la biota el mercurio (Hg) y el plomo (Pb) (5). El Hg origina problemas a nivel reproductivo, embriológico, etológico, nervioso, inmunológico y genético en el desarrollo de las aves (7). Por su parte, la contaminación con Pb en las aves genera problemas neuromotores, anemia, letargo, disminución de la masa corporal, alteraciones comportamentales, reproductivas, además de afectar el desarrollo embrionario (8).

Del total de especies de aves que posee Colombia, 266 especies son aves asociadas a ecosistemas acuáticos (9), las cuales tienen una gran importancia como bioindicadores de los estados de conservación de los humedales y en los procesos ecológicos que se presentan en estos ecosistemas (10). La Mojana, de manera permanente y temporal, alberga a un gran número de especies de aves que se distribuyen entre los diferentes nichos que les brindan estos ecosistemas (11).

Dentro de estas aves, el Pisingo (*Dendrocygna autumnalis*) es de suma importancia, ya que es usado como fuente de proteína de origen animal y es uno de los platos gastronómicos más valorados de la región (12). La ecología y hábitos de vida de *D. autumnalis* se pueden usar para medir el efecto de los metales pesados sobre los ecosistemas en los que habitan. El pisingo es el pato neotropical más abundante, habita en humedales, llanuras inundables y arrozales, se adapta muy bien a los agroecosistemas y se reproduce con facilidad. Debido a que sus hábitos alimenticios se basan en el consumo de granos de maíz y arroz, esta especie se convierte en un bioindicador adecuado de la contaminación con metales pesados. Los hábitos alimenticios y la abundancia de *D. autumnalis* lo convierten en un buen bioindicador de contaminación ambiental (13,14).

Por lo cual, se estudió la bioacumulación de mercurio y plomo en *D. autumnalis*, perteneciente al ensamble de aves presentes en la región de La Mojana, que está siendo afectada por la minería aurífera y las prácticas agrícolas.

El objetivo de este estudio fue determinar, por primera vez, las concentraciones de Hg y Pb en sangre y plumas de *D. autumnalis* (Pisingo) en la región de la Mojana, en virtud de la ausencia de registros de estudios de metales pesados en aves acuáticas de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Esta investigación fue desarrollada en dos estaciones de muestreo localizadas en La Mojana, en la intersección de los cauces de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge, en la depresión Momposina. La primera estación se ubicó en una zona del río San Jorge aledaña a la ciénaga de Ayapel ($8^{\circ}27'34''$ N - $75^{\circ}2'37''$ W), en el corregimiento de Cecilia (Ayapel-Córdoba), a través de la cual fluye el caño Viloría, subcuenca de la ciénaga de Ayapel, que recibe el influjo de los ríos San Jorge y Cauca. La segunda se situó en una zona del río San Jorge contigua a la ciénaga de San Marcos ($8^{\circ}35'19.30''$ N - $75^{\circ}4'43.40''$ W), en la localidad de El Torno (San Marcos-Sucre), la cual es una zona inundable del río San Jorge y colinda con la ciénaga de San Marcos. En el área de estudio se ha documentado contaminación por metales pesados en distintas matrices del ecosistema debido a las cargas contaminadas con metales pesados provenientes de los ríos que circundan a La Mojana. Se ha registrado concentraciones de metales pesados en sedimentos y materia orgánica tales como Cu (48400 ng/g), Zn (79200 ng/g), Ni (58100 ng/g), Pb (3200 ng/g), Cd (560 ng/g), Mn (41100 ng/g), y Hg (100 ng/g) (5), concentraciones de HgT de 0.097 ± 0.049 $\mu\text{g/g}$ en sedimentos, 0.191 ± 0.017 $\mu\text{g/g}$ en macrófitas (1), 17.05 ng/g en arroz (6), en peces como *Caquetaia kraussi* (150 ± 57 ng/g), *Hoplias malabaricus* (239 ± 67 ng/g), *Plagioscion surinamensis* (578 ± 392 ng/g) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (568 ± 224 ng/g) (1)(Figura 1).

Colecta de muestras. Los muestreos se realizaron en abril y diciembre de 2019, que corresponden a meses de temporada lluviosa y seca, respectivamente. 10 redes de neblina (9m x 2.5m) se implementaron en la captura de los individuos, las cuales fueron colocadas

en sitios considerados de tránsito, alimentación y/o refugio de las aves. El horario de captura estuvo comprendido entre las 7:00 horas y las 18:00 horas. La toma de muestras fue realizada con los permisos competentes otorgados por la Universidad de Córdoba y CORPOMOJANA. Los individuos capturados se identificaron siguiendo las claves taxonómicas de Ayerbe (15). Con la asistencia de un veterinario y dos biólogos, se colectaron entre 1 y 3 ml de sangre de cada ave por medio de la punción de la vena yugular con aguja insulínica. Las muestras fueron almacenadas en tubos con anticoagulante de ácido etilendiaminotetracético (EDTA) y mantenidas en cajas de poliestireno expandido con geles refrigerantes a una temperatura de $4-6^{\circ}$ C para su conservación (16). Se recolectaron alrededor de 10 plumas por cada individuo. Teniendo al ave adecuadamente inmovilizada, se procedió a extraer 4-5 plumas del pecho y 4-5 de otra parte del cuerpo. Las muestras se preservaron en bolsas plásticas herméticamente selladas, se etiquetaron y fueron guardadas para su procesamiento en el laboratorio del grupo de investigación en Aguas, Química Aplicada y Ambiental de la Universidad de Córdoba (16).

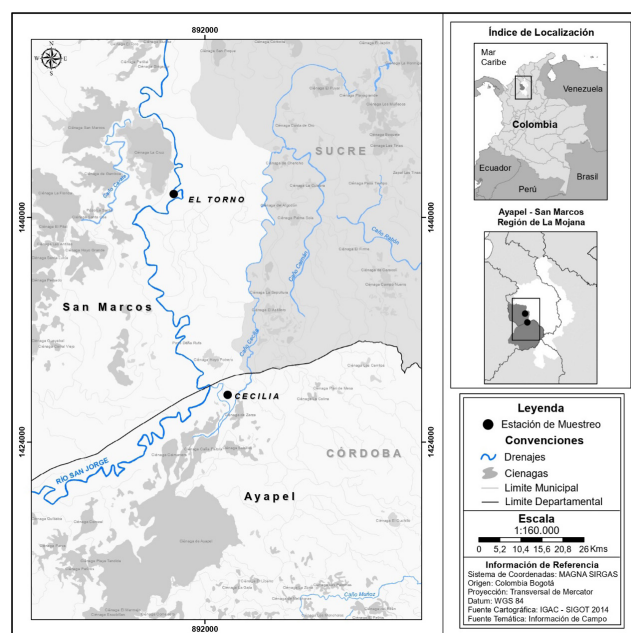


Figura 1. Región de La Mojana (Colombia). Estaciones de muestreo: 1. Caño Viloría-Cecilia. 2. Río San Jorge -El Torno.

Análisis de muestras. La determinación de Hg y Pb en sangre de *D. autumnalis*, se realizó mediante espectrometría de absorción atómica con vapor frío (CVAAS) y espectrometría de

absorción atómica con horno de grafito (GFAAS), respectivamente. Se transfirieron 2 mL de cada muestra de sangre a un vaso de teflón de 100 mL de capacidad, al que posteriormente se le agregaron 8 mL de ácido nítrico concentrado y 2 mL de peróxido de hidrógeno (30%). Los vasos se cerraron y su digestión se hizo en un horno microondas a una temperatura de 280°C, con una presión de 80 bares y una potencia de 1.400 W durante 30 minutos. Para la determinación de Hg, una vez enfriadas, las soluciones se transfirieron a un reactor marcado y el volumen final se ajustó hasta 70 mL agregando agua desionizada para su posterior análisis (17). Para la determinación de Pb, una vez enfriada, la solución se llevó a un recipiente limpio y seco. Una alícuota de 500 µL de la solución sometida a digestión se colocó en un contenedor de muestra y su volumen se ajustó hasta 1 mL con agua desionizada (17).

La determinación de Hg y Pb en plumas de *D. autumnalis*, se realizó por CVASS y GFAAS, respectivamente. Las muestras de plumas fueron lavadas con agua desionizada y acetona con el fin de la eliminación de metales libres, posteriormente fueron secadas a 60°C durante 48 h. Las muestras de plumas fueron digeridas con una mezcla de H₂SO₄-HNO₃ (2:1, v/v) a 100–110°C por 3 h, y KMnO₄ (5%, p/v) a 100°C por 30 min (18).

Análisis estadístico. Para el tratamiento estadístico se determinaron las medias ± desviación estándar para expresar las concentraciones de mercurio y plomo encontradas en la sangre y las plumas de los 47 individuos capturados. De este modo, se realizó el test de Shapiro-Wilk a partir del cual se corroboró la normalidad ($p < 0.05$) de las distribuciones de las concentraciones de Hg y Pb en los tejidos estudiados. Posteriormente se calcularon los rangos de las concentraciones de ambos metales en sangre y plumas para Ayapel y San Marcos con un intervalo de significancia del 95%. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico R versión 3.5.3.

RESULTADOS

Las concentraciones de Hg y Pb en los tejidos de las aves colectadas son presentadas en la Tabla 1, Figura 2 y Figura 3. Se obtuvo en total muestras de 47 aves de la especie *D. autumnalis*,

22 en la primera estación de muestreo (Cecilia) y 25 en la segunda (El Torno). Las concentraciones medias de Hg en sangre fueron similares en las aves muestreadas en Cecilia y El Torno, 9.87 ± 10.6 ng/mL y 5.47 ± 3.45 ng/mL, siendo levemente superiores en Cecilia. En lo que respecta a la concentración de Hg en plumas, las concentraciones de la primera estación (475.4 ± 180.5 ng/g) fueron superiores a los de la segunda (438.46 ± 131.25 ng/g). Para Pb en sangre, la mayor concentración la presentó la primera estación de muestreo (218.5 ± 216.6 ng/mL) mientras que el plomo en plumas fue considerablemente mayor en la segunda estación (873.59 ± 412.06). Los mayores intervalos de concentración de Hg y Pb fueron encontrados en las plumas de los individuos capturados en la primera (179.2–756.9 ng/g) y segunda estación de muestreo (243.99–1643.70 ng/g), respectivamente. Las concentraciones de Hg y Pb en plumas fueron superiores a los hallados en sangre.

Tabla 1. Concentración (ng/mL) de metales pesados (Hg y Pb) en sangre y plumas de *D. autumnalis* en la región de La Mojana.

Estación	Concentración media ± SD (Intervalos)				n
	Sangre (ng/mL)		Plumas (ng/g)		
	Hg	Pb	Hg	Pb	
E1	9.87 ±10.6	218.5 ±21.6	475.4 ±180.5	5.5 ±1.2	22
	1.23– 4.01	8.73– 929.5	179.2– 56.9	0.3– 37	
E2	5.47 ±3.45	94.11 ±94.3	438.46 ±131.25	873.59 ±412.06	25
	1.87– 14.58	5.58– 280.55	186.37– 676.32	243.99– 1643.70	
Total					47

E1: Estación de muestreo 1. E2: Estación de muestreo 2

Cuatro individuos de *D. autumnalis*, correspondientes a un 8,5% de los individuos muestreados sobrepasaron el valor de 15 ng/mL indicador de intoxicación por Hg en sangre y posibilidad de muerte, descrito por Scheuhammer et al. (19). La totalidad de las aves presentó concentraciones de Hg en plumas superiores al indicador de toxicidad de 5.0 ng/g descrito por Eisler (20).

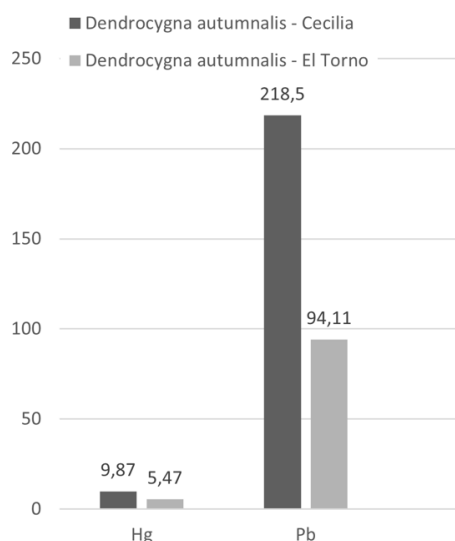


Figura 2. Concentraciones medias de Hg y Pb en sangre (ng/mL) de *Dendrocygna autumnalis* en Cecilia y El Torno.

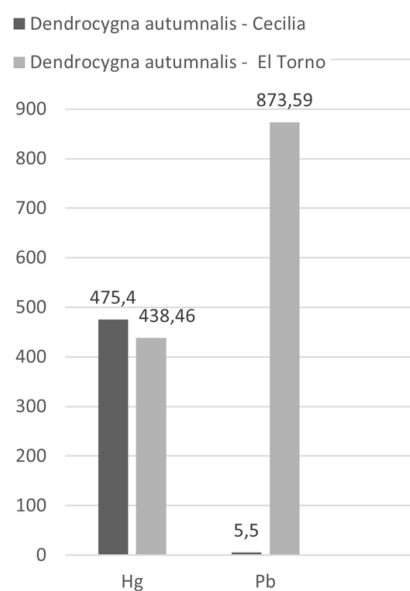


Figura 3. Concentraciones medias de Hg y Pb en plumas (ng/g) de *Dendrocygna autumnalis* en Cecilia y El Torno.

Respecto a Pb en sangre, once ejemplares de *D. autumnalis*, correspondientes al 23,4 % de los individuos muestreados, presentaron intoxicación subclínica (entre 200 y 500 ng/mL), mientras que dos individuos (9%) manifestaron intoxicación clínica (entre 500 y 1000 ng/mL) conforme a lo descrito por Pain (8). La intoxicación subclínica se manifiesta con toxicidad subcelular en el hígado, disminución del tamaño de los huevos, impactos sobre la respuesta inmune, reducción de la tasa de

eclosión de huevos, disminución de la motilidad de los espermatozoides y estrés oxidativo, con el riesgo de dañar los componentes de la célula (8). La intoxicación clínica incluye manifestaciones tales como anemia, letargo, desgaste muscular y pérdida de reservas de grasa, diarrea verde, ala caída, pérdida de equilibrio y coordinación y otros signos neurológicos como como parálisis o convulsiones (8). Por otra parte, ninguno de los individuos de *D. autumnalis* sobrepasó el límite de concentración de Pb en plumas, utilizado como indicador de toxicidad en aves, equivalente a 4000 ng/g, descrito por Tshipoura et al (21).

La totalidad de las plumas muestreadas excedió el límite permisible para Hg establecido por el Reglamento (UE) 2018/73 (22) de la Unión Europea para carne de pato (de cría y silvestre) que equivale a 40 ng/g. Los 22 individuos de la primera de estación de muestreo registraron una media de concentración de plomo en sangre (218.5 ± 216.6 ng/mL) superior al límite permisible de Plomo en carne de pato recomendado por la Unión Europea para niveles máximos para determinados contaminantes en los productos alimenticios (23) de 100ng/g. De la misma forma los 25 individuos de la segunda estación de muestreo registraron un valor medio de concentración de plomo en plumas (873.59 ± 412.06 ng/g) considerablemente superior al límite anteriormente mencionado.

DISCUSIÓN

En Colombia las evidencias de contaminación por Hg en aves son escasas. En nuestro estudio, las mayores concentraciones de Hg (475.4 ± 180.5 ng/g) fueron inferiores a las concentraciones registradas en otros estudios de contaminación por metales pesados en aves de Colombia. Sierra-Márquez et al (24) reportaron la presencia de este metal en plumas (840 ± 50 ng/g) de aves insectívoras, nectívoras y frugívoras en el parque natural Las orquídeas, Antioquia. Burgos-Nuñez et al (25) determinaron en la Bahía de Cispatá – Córdoba, cantidades de Hg en plumas de *Fregata magnificens* de 10190 ng/g, las cuales son superiores a todas las concentraciones de Hg halladas en este estudio. Por otra parte, las mayores cantidades de mercurio cuantificadas en sangre de *Dendrocygna autumnalis* (9.87 ± 10.6 ng/mL) fueron inferiores a las obtenidas por Albuja et al (26) en 54 especies de aves silvestres asociadas a tres regiones mineras en Ecuador, con un valor máximo de 162.16 ng/mL. Las mayores concentraciones medias de Pb en sangre

de *Dendrocygna autumnalis* (218.5 ± 216.6 ng/mL) fueron superiores a las encontradas en *Anas platyrhynchos* (112 ± 66 ng/mL) y menores que las halladas en *Aythya ferina* (926 ± 463 ng/mL) durante una investigación en aves acuáticas (27) en España. Las mayores mediciones de Pb en plumas de *D. autumnalis* (873.59 ± 412.06 ng/g) fueron inferiores a las obtenidas por Garitano et al. (28) en un estudio realizado en especies de la familia Tinamidae asociadas a zonas mineras en Bolivia, en las que se midieron concentraciones medias de este metal correspondientes a 7764.48 ng/g en este tejido. En un estudio realizado por Ferreyra et al. (29), cuyo objetivo fue determinar la incidencia de la ingestión de perdigones de plomo usados en la cacería y consumidos por varias especies del género *Dendrocygna*, se determinaron concentraciones máximas de este metal de 17100 ± 5330 ng/g, mayores a las registradas en nuestra investigación. Los anteriores estudios muestran cómo las actividades antrópicas son responsables de la liberación de metales pesados al medio, los cuales terminan en los tejidos de las aves. Dichos metales, al entrar en contacto con el agua modifican sus parámetros fisicoquímicos (30).

Factores como las condiciones fisicoquímicas del agua y los sedimentos también juegan un rol crucial en la dinámica contaminante de estos metales, dado que favorecen su proceso bioacumulativo e incrementan las concentraciones de los mismos en los ecosistemas acuáticos y los organismos, a través de la biomagnificación e incorporación en la red trófica (5). Estos procesos dependen en gran medida de los flujos de agua y el desplazamiento del material particulado, así como de su circulación en los organismos que componen la red trófica, a través de la biomagnificación desde las macrófitas hasta los eslabones tróficos superiores de la biota asociada a los ecosistemas acuáticos de la región de La Mojana (1). Todo esto influye directamente en la dinámica biológica de los organismos que conforman la red trófica a la que pertenece *D. autumnalis*.

Las cantidades de metales pesados halladas en *D. autumnalis*, pueden explicarse debido a aspectos puntuales en la ecología de la especie. En este sentido, los hábitos alimenticios de los individuos juegan un rol crucial en los procesos de bioacumulación y biomagnificación de contaminantes como los metales pesados (31). *D. autumnalis* es una especie de pato con hábitos alimenticios omnívoros, cuya dieta se basa mayoritariamente en granos de plantas y

pequeños invertebrados (13). Los humedales constituyen el principal nicho para las aves forrajeras, como *D. autumnalis*, debido a que son ecosistemas altamente productivos, ofertando una gran cantidad de semillas e invertebrados acuáticos a dichas especies. Sin embargo, los humedales pueden ser muy propicios para la producción y bioacumulación de MeHg, ya que el crecimiento de los cultivos en aguas limita la radiación solar sobre el humedal generando condiciones biofísicas adecuadas para permitir una poca degradación y mayor transporte de mercurio en los cultivos, en específico el arroz (32). Los grados de contaminación por Hg registradas en esta investigación, se deben a que *D. autumnalis* se alimenta de cultivos de arroz contaminados con este metal. En trabajos investigativos desarrollados en el área de estudio (6,33) se determinó contaminación por dicho metal en cultivos de arroz de La Mojana, con concentraciones de 17.05 ng/g y concentraciones de 0.021 µg/g, respectivamente. Los sedimentos, el agua y el consumo de macroinvertebrados también representan fuentes de contaminación para esta especie. Marrugo et al (1) registraron 0.097 ± 0.049 µg/g de HgT en sedimentos y 0.191 ± 0.017 µg/g en macrófitas de la Mojana.

El mercurio tiende a acumularse en el manto de sedimentos de los humedales y a ser transportado a través de la columna de agua. La especie *D. autumnalis* al estar continuamente en estas matrices ambientales recibe dosis de mercurio por contacto directo con la piel y a través de la ingesta de agua. Además, los macroinvertebrados de los que se alimenta tienen como fuente alimenticia plantas macrófitas y sedimentos. El proceso de biomagnificación del Hg inicia en los sedimentos, pasando a las macrófitas, y de estas a los macroinvertebrados acuáticos de los que se alimenta *D. autumnalis* (34). Las concentraciones de Pb registradas en sangre y plumas de *D. autumnalis* se pueden explicar por la acumulación de Pb en matrices ambientales que sirven como sustrato alimenticio para esta especie como los cultivos de arroz, los cuales requieren altas concentraciones de agroquímicos, que son ricos en metales pesados (35). Estos contaminantes se fijan en el arroz y se diseminan en otros estratos productores de la red alimentaria (5). Otra posible razón que explique la contaminación con Pb se halla en el hecho de que este metal es utilizado como munición para la caza de *D. autumnalis*, propiciando que los individuos de estas poblaciones ingieran munición dispersa en el ambiente para ser utilizada como gastrolitos, es decir, piedras que facilitan la digestión (29).

La especie *D. autumnalis* presentó bajos niveles de toxicidad para Hg en sangre, sin embargo, el total de los individuos muestreados de esta especie superó el límite de toxicidad de 5 ng/g para Hg en plumas descrito por Eisler (20). Una proporción de los individuos de *D. autumnalis* presentó concentraciones de Pb en sangre que indican algún grado de toxicidad de acuerdo con lo descrito por Pain et al (8). Los anteriores niveles de toxicidad son un claro indicio de que esta especie puede estar viéndose afectada por los efectos adversos que genera el Hg y el Pb en los sistemas hematopoyético, vascular, nervioso, renal, inmune y reproductivo de las aves (7,8). Derivando en la alteración de rasgos comportamentales que son vitales para la supervivencia de la especie (7,8).

La alta biodiversidad de la región de La Mojana posibilita el uso de la fauna en la alimentación de las poblaciones humanas asentadas en ella. Es común la caza y el aprovechamiento de especies de reptiles tales como: *Trachemys callirostris*, *Iguana iguana*, *Caiman crocodilus fuscus*, *Podocnemis lewyana* y aves como: *Anas discors*, *Dendrocygna viduata*, *Dendrocygna autumnalis* (12). La caza de Pisingo se realiza con el propósito de usarla para consumo como base de proteína de origen animal y hace parte de la gastronomía de la región (12). La ingesta de carne de Pisingo con presencia de metales pesados genera en los animales alteraciones comportamentales, fisiológicas, reproductivas, daño oxidativo al ADN, reducción de las tasas de crecimiento y del número de huevos (21). En los humanos el mercurio afecta el sistema nervioso y el plomo causa déficit en el coeficiente intelectual, trastornos del comportamiento, así como con una disminución del volumen cerebral en adultos (36). Diversos hallazgos registran contaminación con Hg en humanos provenientes del consumo de otras especies asociadas a los humedales de La Mojana (17). De forma que el consumo de carne de pisingo contaminada por Hg se suma al consumo de peces, arroz e hico teas también contaminadas, poniendo en riesgo la salud de los habitantes de la zona (1,6,33). En un estudio realizado en La Mojana, personas con presencia de mercurio en su organismo manifestaron síntomas tales como dolor de cabeza, falta de energía, agotamiento, nerviosismo o irritabilidad y preocupación en exceso (37). El mercurio y sus formas metiladas generan toxicidad desde muy bajas concentraciones, afectando en mayor medida al sistema nervioso central, sistema

renal y hemático (19). La exposición al Pb en humanos afecta la salud, especialmente en niños pequeños y mujeres en estado de gestación (38). La exposición de fetos y niños al Pb está relacionada con trastornos neurológicos como el trastorno por déficit de atención e hiperactividad y déficits cognitivos (39). El plomo puede generar trastornos durante la gestación, el parto y en los neonatos (40). Por lo tanto, los consumidores pueden incurrir en riesgos para la salud por el consumo prolongado de carne de Pisingo contaminada con Hg y Pb.

En conclusión, la especie *D. autumnalis* presenta niveles de contaminación por Hg y Pb preocupantes que revelan un gran impacto de las actividades antrópicas, como la minería y las actividades agrícolas, en la ecorregión de La Mojana. Para conocer de forma más precisa los procesos contaminantes generados por metales pesados en la avifauna de la región se hacen necesarios estudios en mayor diversidad de especies, en mayor cantidad de sitios de muestreo y en periodos de tiempo más largos. Se recomienda que se realicen estudios midiendo metales pesados en carne de pato ya capturado para consumo, y a partir de los datos suministrados por esta investigación, las autoridades ambientales competentes diseñen y ejecuten estrategias para la evaluación y conservación de los ecosistemas acuáticos y la avifauna asociada a estos en La Mojana

La ingesta de carne de pisingo contaminada representa un problema de salud pública ya que los metales pesados se bioacumulan en estos organismos luego de pasar por varios niveles de la red trófica. Razón por la cual es necesario informar y educar a las poblaciones de La Mojana sobre el consumo de carne de pisingo, a fin de proteger a los individuos en edad gestacional, niños y población general de los efectos del mercurio y plomo en sus organismos.

Conflicto de interés

No existen conflictos de interés.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Córdoba, Montería-Colombia, al Grupo de Química del Agua Aplicada y Ambiental y al Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental.

REFERENCIAS

1. Marrugo Negrete J, Pinedo-Hernández J, Paternina-Uribe R, Quiroz-Aguas L, Pacheco-Florez S. Distribución espacial y evaluación de la contaminación ambiental por mercurio en la región de la Mojana, Colombia. Rev MVZ Córdoba. 2018; 23(S):7062–7075. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1481>
2. Carlos F, Lina MES, Sergio R, César A, Marcela Q, Óscar A, et al. Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia. Biota Colomb. 2016; 16(3):44–62. <https://doi.org/10.21068/c2016s01a03>
3. Ramsar C. The List of Wetlands of International Importance; RAMSAR Secretariat: Gland, Switzerland, 2021.
4. Marrugo J, Lans E, Benítez L. Hallazgo de mercurio en peces de la Ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. Rev MVZ Córdoba. 2007; 12(1): 878-886 <https://doi.org/10.21897/rmvz.432>
5. Marrugo-Negrete J, Pinedo-Hernández J, Combatt EM, Bravo AG, Díez S. Flood-induced metal contamination in the topsoil of floodplain agricultural soils: A case-study in Colombia. Land Degrad Dev. 2019; 30(17):2139–2149. <https://doi.org/10.1002/ldr.3398>
6. Argumedeo MP, Vergara C, Vidal J, Marrugo JL. Evaluación de la concentración de mercurio en arroz (*Oryza sativa*) crudo y cocido procedente del municipio de San Marcos– Sucre y zona aurífera del municipio de Ayapel – Córdoba. Rev Univ Ind Santander Salud. 2015; 47(2):169–177. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasaluduis/article/view/4826/4964>
7. Whitney MC, Cristol DA. Impacts of sublethal mercury exposure on birds: A detailed review. Rev Environ Contam Toxicol. 2018; 244:113–163. https://doi.org/10.1007/398_2017_4
8. Pain DJ, Mateo R, Green RE. Effects of lead from ammunition on birds and other wildlife: A review and update. Ambio. 2019; 48(9):935–953. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-019-01159-0>
9. Ruiz-Guerra C. Lista de Aves Acuáticas de Colombia. Asociación Calidris; 2012. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2511.8244>
10. Zhang WW, Ma JZ. Waterbirds as bioindicators of wetland heavy metal pollution. Procedia Environ Sci. 2011; 10:2769–2774. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.429>
11. Linares AJ, Carrillo FM, González CM, Vergara DL, Ortega LÁ, Ruiz VR, et al. Caracterización en la dinámica espacial de los macrohábitats acuáticos en la región de La Mojana. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; Universidad de Córdoba; 2018. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/34994>
12. Valencia-Parra E, de La Ossa VJ. Patrones de uso de fauna silvestre en el bajo río San Jorge, Sucre, Colombia. Rev Colomb Cienc Anim RECIA. 2016; 8(S1):276. <http://dx.doi.org/10.24188/recia.v8.n0.2016.382>
13. Ramirez E, Arguello M, Ilizaliturri C, Tintos A, Mejia J, Borja I. A brief review of the use of biomarkers in Mexico s aquatic ecosystems pollution assessment: 2001 2002. Lat Am J Aquat Res. 2018; 46(5):860–879. <http://dx.doi.org/10.3856/vol46-issue5fulltext-1>
14. Osten JR, Soares AMVM, Guilhermino L. Black-bellied whistling duck (*Dendrocygna autumnalis*) brain cholinesterase characterization and diagnosis of anticholinesterase pesticide exposure in wild populations from Mexico. Environ Toxicol Chem. 2005; 24(2):313–317. <https://doi.org/10.1897/03-646.1>
15. Ayerbe Quiñonez F. Guía ilustrada de la Avifauna colombiana. 1ª ed. Bogotá, Colombia: Wildlife Conservation Society; 2018.

16. Muñoz-García C, Rendón-Franco E, López-Díaz O, Ruiz RR, Arechiga-Ceballos N, Villanueva C, et al. Colecta y conservación de muestras de fauna silvestre en condiciones de campo. UAM, Unidad Xochimilco: México; 2016. <https://casadelibrosabiertos.uam.mx/gpd-colecta-y-conservacion-de-muestras-de-fauna-silvestre-en-condiciones-de-campo.html>
17. Calao CR, Marrugo JL. Efectos genotóxicos en población humana asociados a metales pesados en la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomedica*. 2015; 35(Supl.2):139-151. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2392>
18. Burgos N S, Marrugo N J, Navarro F A, Urango C I. Mercury in *Pelecanus occidentalis* of the Cispatá bay, Colombia. *Rev MVZ Córdoba*. 2014; 19(2):4168–4174. <https://doi.org/10.21897/rmvz.110>
19. Scheuhammer AM, Meyer MW, Sandheinrich MB, Murray MW. Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals, and fish. *Ambio*. 2007; 36(1):12–18. [http://dx.doi.org/10.1579/00447447\(2007\)36\[12:eoemot\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1579/00447447(2007)36[12:eoemot]2.0.co;2)
20. Eisler R. Mercury hazards to living organisms. Boca Ratón, FL, Estados Unidos de América: CRC Press; 2006. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420008838>
21. Tsioura N, Burger J, Newhouse M, Jeitner C, Gochfeld M, Mizrahi D. Lead, mercury, cadmium, chromium, and arsenic levels in eggs, feathers, and tissues of Canada geese of the New Jersey Meadowlands. *Environ Res*. 2011; 111(6):775–784. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2011.05.013>
22. Commission Regulation (EU) 2018/73 of 16 January 2018 amending Annexes II and III to Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council as regards maximum residue levels for mercury compounds in or on certain products Text with EEA. *Off J. Eur. Union*; 2018. <http://data.europa.eu/eli/reg/2018/73/oj>
23. Commission Regulation. No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of European Union*; 2006. <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1881/oj>
24. Sierra-Marquez L, Peñuela-Gomez S, Franco-Espinosa L, Gomez-Ruiz D, Diaz-Nieto J, Sierra-Marquez J, et al. Mercury levels in birds and small rodents from Las Orquideas National Natural Park, Colombia. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2018; 25(35):35055–35063. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-018-3359-2>
25. Burgos-Núñez S, Navarro-Frómata A, Marrugo-Negrete J, Enamorado-Montes G, Urango-Cárdenas I. Polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in the Cispatá Bay, Colombia: A marine tropical ecosystem. *Mar Pollut Bull*. 2017; 120(1–2):379–386. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.016>
26. Albuja L, Montalvo D, Cáceres F, Jácome N. Niveles de mercurio en aves silvestres de tres regiones mineras del sur del Ecuador. *Politécnica*. 2012; 30(3):18. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5058>
27. Martínez-Haro M, Green AJ, Mateo R. Effects of lead exposure on oxidative stress biomarkers and plasma biochemistry in waterbirds in the field. *Environ Res*. 2011; 111(4):530–538. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.02.012>
28. Garitano-Zavala A, Cotín J, Borràs M, Nadal J. Trace metal concentrations in tissues of two tinamou species in mining areas of Bolivia and their potential as environmental sentinels. *Environ Monit Assess*. 2010; 168(1–4):629–644. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-009-1139-7>
29. Ferreyra H, Romano M, Beldomenico P, Caselli A, Correa A, Uhart M. Lead gunshot pellet ingestion and tissue lead levels in wild ducks from Argentine hunting hotspots. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2014; 103:74–81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.10.015>
30. Flores CM, Del Angel E, Frías DM, Gómez AL. Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. *Tecnol cienc agua*. 2018; 9(2):39–57. <http://dx.doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-02>

31. Francis EA. Paramount roles of wild birds as bioindicators of contamination. *Int J Avian Wildl Biol.* 2017; 2(6). <http://dx.doi.org/10.15406/ijawb.2017.02.00041>
32. Windham-Myers L, Fleck JA, Ackerman JT, Marvin-DiPasquale M, Stricker CA, Heim WA, et al. Mercury cycling in agricultural and managed wetlands: a synthesis of methylmercury production, hydrologic export, and bioaccumulation from an integrated field study. *Sci Total Environ.* 2014; 484:221–231. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.033>
33. Argumedeo García MP, Consuegra-Solórzano A, Vidal-Durango JV, Marrugo-Negrete JL. Exposición a mercurio en habitantes del municipio de San Marcos (Departamento de Sucre) debida a la ingesta de arroz (*Oryza sativa*) contaminado. *Rev Salud Pública.* 2013; 15(6):903-915. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/40760>
34. Asante CK, Hobson KA, Bond AL, Jardine TD. Resource partitioning among five species of waterfowl (*Anas* spp.) at an autumn migratory stopover: combining stable isotope and mercury biomarkers. *Can J Zool.* 2017; 95(4):279–286. <http://dx.doi.org/10.1139/cjz-2016-0063>
35. Martí L, Filippini MF, Bermejillo A, Troilo S, Salcedo C, Valdés A. Monitoreo de cadmio y plomo en los principales fungicidas cúpricos comercializados en Mendoza, Argentina. *Rev Fac Cienc Agrar.* 2009; 41(2):109-116. <https://bdigital.uncu.edu.ar/3185>
36. Aendo P, Netvichian R, Khaodhiar S, Thongyuan S, Songserm T, Tulayakul P. Pb, Cd, and Cu play a major role in health risk from contamination in duck meat and offal for food production in Thailand. *Biol Trace Elem Res.* 2020; 198(1):243–252. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02040-y>
37. Gracia HL, Marrugo NJL, Alvis REM. Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. *Rev Fac Nac Salud Pública.* 2010; 28(2):118-124 <https://revistas.udea.edu.co/index.php/fnsp/article/view/1753>
38. Spanier AJ, McLaine P, Gilden RC. Screening for elevated blood lead levels in children and pregnant women. *JAMA.* 2019; 321(15):1464–1465. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.2594>
39. Téllez-Rojo MM, Bautista-Arredondo LF, Richardson V, Estrada-Sánchez D, Ávila-Jiménez L, Ríos C, et al. Intoxicación por plomo y nivel de marginación en recién nacidos de Morelos, México. *Salud Publica Mex.* 2017; 59(3):218-226. <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/8045>
40. Jameil NA. Maternal serum lead levels and risk of preeclampsia in pregnant women: a cohort study in a maternity hospital, Riyadh, Saudi Arabia. *Int J Clin Exp Pathol.* 2014; 7(6):3182–3189. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25031738>