



The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

MERCURY CONTENT IN EGGSHELLS OF BROWN PELICAN (*PELECANUS OCCIDENTALIS*) OF A NESTING SITE IN CARIACO GULF, VENEZUELA

CONTENIDO DE MERCURIO EN CÁSCARAS DE HUEVOS DEL ALCATRAZ (*PELECANUS OCCIDENTALIS*) EN UN ÁREA DE NIDIFICACIÓN EN EL GOLFO DE CARIACO, VENEZUELA

Gilliannys Arcia-Castañeda¹; Jorge Muñoz-Gil²; Gedio Marín-Espinoza^{1*};
Wendy Rondón-Sánchez³; María Hernández-Villarreal³; Roseline Zabala-Marcano⁴ & José León-Ninin³

¹Laboratorio de Ecología de Aves, Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Avenida Universidad, Cumaná, Estado Sucre, Venezuela.

²Laboratorio de Ambientes Terrestres, Centro de Investigaciones Ecológicas Guayacán, Universidad de Oriente, Guayacán, Estado Sucre, Venezuela.

³Laboratorio de Química Analítica, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Altos de Pipe, Estado Miranda, Venezuela.

⁴Laboratorio de Química Analítica, Departamento de Química, Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Avenida Universidad, Cumaná, Estado Sucre, Venezuela.

Dirección postal: Urbanización Villa Olímpica, Bloque 03, Apto 01-03, Cumaná, Estado Sucre, Venezuela.

*Corresponding author: E-mail: gediom@yahoo.com

ABSTRACT

Mercury (Hg) content was determined in eggshells of Brown Pelican (*Pelecanus occidentalis* L. 1766). Samples were collected during breeding season (february, march, april) on southern coast of Cariaco Gulf, state of Sucre, Venezuela. Samples were then analyzed for total Hg concentrations using thermal decomposition, amalgamation/atomic absorption spectrophotometry (TDA/AAS). Levels mercury no showed significant differences between months (february: $0,02693 \pm 0,003179$ mg kg⁻¹ april: $0,02598 \pm 0,003777$ mg kg⁻¹ march, $0,02314 \pm 0,002174$ mg kg⁻¹); and these values do not exceed standard levels established in aquatic biota. Nonetheless this marine seabird can serve as a bio-sentinel of environmental contamination for Hg and other heavy metals due to its abundance and the fact that it is located at the top of food chain in this important fishing, ecological and touristic marine area.

Keywords: Cariaco Gulf – *Pelecanus occidentalis* – total mercury

RESUMEN

Se determinó el contenido de mercurio (Hg) en cáscaras de huevos del alcatraz (*Pelecanus occidentalis* L. 1766), colectadas durante su época reproductiva (febrero, marzo y abril), en el litoral sur del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Para ello se utilizó la técnica de Descomposición Térmica y Amalgamado con detección por espectroscopía de absorción atómica (TDA-AAS). No hubo diferencias significativas en las concentraciones de Hg entre meses (febrero: $0,02693 \pm 0,003179 \text{ mg kg}^{-1}$; abril: $0,02598 \pm 0,003777 \text{ mg kg}^{-1}$; marzo, $0,02314 \pm 0,002174 \text{ mg kg}^{-1}$); no obstante, estos valores no superan los límites estándar establecidos para la biota acuática. A pesar de ello, esta especie marino-costera puede ser utilizada como bioindicadora de contaminación ambiental por Hg y otros metales pesados toxigénicos, puesto que es abundante y se ubica en el tope de la cadena alimenticia en este importante cuerpo de agua marina, de gran valor ecológico, pesquero y turístico.

Palabras clave: golfo de Cariaco – mercurio total – *Pelecanus occidentalis*

INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas, las aves marinas vienen siendo utilizadas como biomonitores usuales de polución en ecosistemas marino-costeros, pues son especies longevas y generalmente están en el tope de las cadenas alimenticias razón por la cual pueden magnificar contaminantes toxigénicos (Furness & Camphuysen, 1997; ICES, 1999; Burger & Gochfeld, 2000; Burger, 2002; Boyd et al., 2006; Durant et al., 2009; Carravieri et al., 2013; McCormick et al., 2014; Burger et al., 2015; O'Hanlon, 2016). Adicionalmente, los tóxicos acumulados en sus plumas y sus huevos pueden cuantificarse sin detrimento del ave; de igual modo, la ecología y fisiología de la mayoría de las aves marinas ha sido relativamente bien estudiada lo cual facilita la interpretación de los datos en tejidos contaminados (ICES, 1999).

Entre los contaminantes ambientales, el mercurio (Hg) ha sido uno de los toxigénicos más ampliamente estudiado; sin embargo, la información sobre los efectos de este metal a nivel de organismos y poblaciones es menos abundante que en otros compartimientos ambientales; no obstante, éstos han sido medidos en una variedad de especies marinas, donde ha sido asociado a anomalías comportamentales, reproductivas y de desarrollo, incluyendo mortalidad directa (Thompson et al., 1990; Monteiro & Furness, 1995; Mallory et al., 2015; Ackerman et al., 2016).

Ahora bien, las distintas especies de aves marinas suelen verse afectadas por los metales pesados

(MP) de diversas maneras, dependiendo de su ciclo reproductivo, hábitos alimentarios, ámbito geográfico, movimientos migratorios, longevidad, tiempo de dependencia parental, entre otros, lo que influye en la biodisponibilidad de los diferentes metales, complicando así las herramientas metodológicas para medirlos (Peakall & Burger, 2003; O'Hanlon, 2016).

El Alcatraz (*Pelecanus occidentalis* L. 1766), objeto de este estudio, se distribuye en toda el área caribeña. Se considera la subespecie *P.o. occidentalis*, de talla más pequeña, como endémica del Caribe, y en Venezuela es frecuente en todo el litoral continental e islas (Hilty, 2003). Los alcatraces (114-140 cm de talla) son bastante longevos (25-30 años), y usualmente no se reproducen hasta por lo menos tres años de edad (Schreiber, 1980). Desafortunadamente, en la mayoría de las localidades del ámbito caribeño, la información sobre su ecología poblacional y conservación se encuentra bastante dispersa, y, en general, las diferentes colonias continentales e insulares han venido siendo afectadas por factores similares, e.g., contaminantes, perturbaciones antrópicas, destrucción de sus hábitats reproductivos (Collazo et al., 2000; Marín et al., 2008; Vera et al., 2016).

El litoral sur del golfo de Cariaco conforma parte geopolítica de cuatro de los quince municipios del estado Sucre, siendo un área de gran interés ecológico, pesquero y turístico; está altamente urbanizado y alberga una colonia permanente de anidación del Alcatraz, vecina a la población de San Antonio del Golfo (Municipio Mejía). En tal

sentido, el objetivo básico de esta investigación fue utilizar un biomonitor para analizar en qué medida los niveles de Hg en las cáscaras del huevo del Alcatraz en el golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela puede estar afectando a este importante cuerpo de agua, como receptor final de las aguas de escorrentía, fluviales, domésticas e industriales de sus alrededores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Durante los meses febrero, marzo y abril del 2016, período reproductivo del Alcatraz, en el litoral sur del golfo de Cariaco, se hizo la colecta de las cáscaras de huevos de manera manual en los nidos y/o en el suelo de la colonia de nidificación, debajo del sitio correspondiente a cada nido, en la ladera norte del cerro El Mal Paso, cuyo piedemonte colinda con la carretera (vía nacional Troncal 9), específicamente en la localidad de San Antonio del Golfo, del Municipio Mejía, estado Sucre, Venezuela.

Procedimiento de laboratorio

Las cáscaras de huevo fueron colocadas en bolsas plásticas por separado y rotuladas, y luego almacenadas a temperatura ambiente, hasta el momento de ser procesarlas. Las muestras se lavaron con agua desionizada para eliminar la contaminación externa del ambiente y los iones metálicos que pudieron intervenir en la determinación del Hg; posteriormente, éstas fueron pulverizadas y homogeneizadas. El contenido de Hg se determinó empleando la técnica TDA-AAS un analizador directo de mercurio (DMA-80 Tri Cell, Milestone); este equipo representa una variación de la voltamperometría de redisolución anódica (Gao & Huang, 2013), pues el método de operación del instrumento está fundamentado en la descomposición térmica de la matriz y el posterior empleo de un espectrómetro atómico (254,7 nm) para desorber el Hg. Para ello, las muestras son calcinadas para liberar el metal, que luego es preconcentrado en un electrodo de oro (amalgamador). Finalmente, el amalgamador es calentado para absorber el Hg como vapor atómico y llevarlo al detector. El procedimiento se realizó por triplicado para cada muestra y las

concentraciones de Hg fueron expresadas en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Análisis estadísticos

Se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis haciendo uso del programa STATGRAPHICS plus 5.0, para determinar diferencias en el contenido de Hg en las diferentes muestras colectadas en los tres meses.

RESULTADOS

Los niveles de Hg se mantuvieron más o menos constantes durante el periodo de muestreo sin diferencias significativas (Tabla 1). Las concentraciones de Hg en las cáscaras de huevos de *P. occidentalis* en el área de estudio se mantuvieron por debajo de lo permitido por las distintas normas internacionales (Codex, 1995; FDA, 2000; EPA, 2017), siendo concentraciones menores a $0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en los tres meses de estudio.

DISCUSIÓN

Varias normas y leyes internacionales establecen límites máximos permisibles de Hg en sedimentos, agua y biota acuática, como se hipotetiza en la Tabla 2. El Codex Alimentarius (Codex, 1995) indica un máximo de $0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Hg en peces. La Food and Drugs Administration (FDA, 2000) $1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Hg en mariscos y $0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en peces. La Risk Assessment Information System indica que un riesgo letal para las aves sería alcanzar niveles de $4,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. La Environmental Protection Agency (EPA, 2017) $2,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en aves (residuos de Hg en todo el cuerpo).

En las cáscaras de huevos, las rutas fisiológicas que sigue el Hg en el ave durante el periodo reproductivo y en la dieta posiblemente tengan mucho que ver con su acumulación, así como el hábitat en el que se encuentre y el grado de exposición donde realizan sus actividades (Norheim, 1987; Boening, 2000; Burger, 2002; Carbonell *et al.*, 2007; Burger *et al.*, 2015).

En los embriones, las concentraciones de Hg tienen una variedad de efectos en las aves; en particular, reducción de la tasa de eclosión y supervivencia de polluelos, y otros problemas de reproducción (Burger & Gochfeld, 2000); también puede producir necrosis renal, infertilidad y alteraciones neurológicas en el caso del Hg orgánico (Martorell, 2009). En su investigación sobre Hg en embriones de aves, Heinz *et al.* (2010) señalan que la reproducción aviar ha demostrado ser un indicador sensible de la contaminación por Hg, ya que la interpretación de las concentraciones elevadas de Hg en huevos de aves a menudo es comparada con los considerados niveles de embriotoxicidad. El embrión parece ser la etapa de vida más sensible a envenenamiento por Hg en aves; por lo tanto, la valoración del contenido de Hg en huevos es la forma más deseable de determinar si es probable que los embriones sufran daños o si el polluelo tendrá algún problema fisiológico durante su desarrollo (Burgess & Meyer, 2008; Evers *et al.*, 2008).

Mierzikowski *et al.* (2005) determinaron concentraciones de Hg en huevos de aves de las costas de Maine, EUA, donde los niveles no sobrepasaron los límites permitidos. En Sinaloa, México, Ceyca (2015) determinó contaminación por Hg en huevos y embriones de aves marinas, siendo el Alcatraz la especie que registró la concentración más alta de Hg ($3,80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). En general, los niveles de Hg son más elevados en especies que se alimentan preferentemente de peces, confirmando así la relación entre el nivel trófico y el contenido de Hg en tejidos de aves marinas en diferentes lugares del mundo (Monteiro *et al.*, 1998; Burger & Gochfeld, 2000; Carravieri *et al.*, 2013). Por ejemplo, en las costas de Sinaloa, México, las aves Pelecaniformes presentaron las concentraciones más elevadas de Hg en los huevos recolectados en dos ecosistemas diferentes; donde la Boba Marrón (*Sula leucogaster brewsteri* Boddaert 1783) y la Boba Patas Azules (*Sula nebouxii* Milne-Edwards 1882) consumen principalmente peces pelágicos como sardinas y anchovetas (Mellink *et al.*, 2001; Castillo-Guerrero & Mellink, 2011), mientras el Cormorán Orejudo (*Phalacrocorax auritus* Lesson, 1831) se alimenta de peces demersales (Ainley *et al.*, 1981). Sin embargo, el contenido de Hg en varias especies de peces pelágicos está relacionado positivamente

con la talla y la etapa de desarrollo (Cai *et al.*, 2007; Kojadinovic *et al.*, 2007), lo que pudiera explicar, parcialmente, las concentraciones altas en los huevos del Alcatraz, cuya dieta suele incluir peces epipelágicos de hasta 160 mm en promedio (Pinson & Drummond, 1993).

En Venezuela, Hernández (2014), en la costa norte de la península de Araya, estado Sucre, determinó concentraciones de Hg en plumas y restos óseos de Alcatraz, Guanaguanare (*Leucophaeus atricilla* L. 1758) y Cotúa (*Phalacrocorax brasilianus* Gmelin 1789), encontrando que el Alcatraz y el Guanaguanare, consumidores habituales de peces epipelágicos (Shields, 2002; Burger, 2015), registraron mayores contenidos de Hg ($9,00$ y $20,00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente), mientras que, en esta área, la Cotúa ($5,00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) es una depredadora de peces demersales (Muñoz *et al.*, 2012).

Diversos estudios indican que las variaciones en las concentraciones de metales pesados en las presas de las aves marinas pueden resultar de cambios ambientales que afectan su biodisponibilidad, mediante procesos como la deposición atmosférica y escurrimientos hídricos continentales durante el período de lluvias (Pereira *et al.*, 2009), surgencias (Segovia-Zavala *et al.*, 1998), cambios climáticos (Aebischer *et al.*, 1990) o variaciones en la estructura de las cadenas alimentarias (Montevecchi & Myers, 1996). Adicionalmente, el Hg no se presenta ni actúa necesariamente solo; de hecho, en los tejidos de animales de niveles tróficos más altos, el metilmercurio frecuentemente coparticipa con otros polutantes acumulativos, particularmente, los bifenilos policlorados (BPC), los cuales, al igual que el Hg, están ampliamente distribuidos en la naturaleza. En estudios sobre defectos en el desarrollo de aves marinas, asociados con elevadas concentraciones de Hg y BPC, indicaron que una interacción entre ambos elementos puede ser la causante. Pero, en contraste, si bien el selenio en altas concentraciones resulta tóxico, se ha identificado que, bajo ciertas circunstancias, este elemento parece conferir un posible efecto protector contra las acciones toxigénicas del Hg (Schuler *et al.*, 1990).

En retrospectiva, el Hg se mantiene en el ambiente formando parte de la atmósfera, los suelos y

cuerpos de agua, por lo que, en este estudio, su detección oportuna en cáscaras de huevos de Alcatraz pudiera ser un importante indicador del vertido eventual de este metal en el golfo de Cariaco, una entidad con un elevado valor ecológico, turístico y pesquero; sin embargo, su integridad ecosistémica puede verse afectada por los residuos contaminantes producto del urbanismo desorganizado, escasa supervisión ambiental y actividad pesquera descontrolada (Lemus, 2014).

En general, los niveles Hg obtenidos en Alcatraz estuvieron por debajo de los registrados en otras aves marinas de otras latitudes, por lo que no parece generar efectos adversos en esta especie; y aunque su presencia eventual en el golfo de Cariaco puede ser resultado, en parte, de las descargas domésticas e industriales que son vertidas al golfo, el consumo masivo en época reproductiva por parte del Alcatraz de sardinas (*Sardinella aurita* Valenciennes 1847), una especie que se mueve en

cardúmenes a lo largo del litoral norte y oeste del estado Sucre (Mendoza *et al.*, 1998), sugiere que parte de su captación puede provenir de otras áreas marinas fuera del golfo. No obstante, el desarrollo del programa nacional de iluminación con bombillos, suministrados de manera gratuita por los entes gubernamentales, son fabricados con una matriz de Hg, y su desecho, al terminar su vida útil, no ha tenido la educación y supervisión ambiental adecuada, por lo que muchos de éstos son desechados al entorno, pudiendo contaminar los ecosistemas acuáticos aledaños. Eventualmente, el Hg y otros metales pesados toxigénicos suelen incorporarse a las redes tróficas marinas y generar una biomagnificación, amenazando la biota asociada a las comunidades marino-costeras; en este sentido, el Alcatraz puede resultar un biocentinela adecuado para cualquier monitoreo ecotoxicológico debido a su abundancia y su ubicación en el tope de la cadena alimenticia de este importante ecosistema marino-costero.



Figura 1. Área de estudio para la evaluación del contenido de Hg total en cáscaras de huevos de *Pelecanus occidentalis* en San Antonio del Golfo, estado Sucre, Venezuela.

Tabla 1. Concentraciones promedio ($\text{mg kg}^{-1} \pm \text{DE}$) de Hg total en cáscaras de huevos de *Pelecanus occidentalis* para los meses de febrero, marzo y abril del 2016, en San Antonio del Golfo, estado Sucre, Venezuela.

Meses	n	Concentraciones
febrero	7	0,026 \pm 0,003
marzo	4	0,023 \pm 0,002
abril	3	0,025 \pm 0,003

No se observaron diferencias significativas (K-W= 0,76; P: 0,68 ns).

Tabla 2. Biomagnificación del metilmercurio en una hipotética cadena alimenticia acuática.

Nivel Trófico	Concentraciones
Agua	1 $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ = 1 ppt
Bacterias y Fitoplancton	10 $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ de agua = 10 ppt
Protozoarios y Zooplancton	100 $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ = 100 ppt
Larvas de Insectos	1 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ = 1 ppb
Pescado frito	10 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ = 10 ppb
Alevines	100 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ = 100 ppb
Peces medianos	1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ = 1 ppm
Aves, humanos	10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ = 10 ppm = 10 $\mu\text{g/g}$

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aebischer, N.; Coulson, J. & Colebrook, J. 1990. Parallel long-term trends across four marine trophic levels and weather. *Nature*, 347:753–755.
- Ackerman, J.T.; Eagles-Smith, C.A.; Herzog, M.P.; Hartman, C.A.; Peterson, S.H.; Evers, D.C.; Jackson, A.K.; Elliott, J.E.; Vander Pol, S.S. & Bryan, C.E. 2016. Avian mercury exposure and toxicological risk across western North America—A synthesis. *Science of the Total Environment*, 568:749–669.
- Ainley, D.; Anderson, D. & Kelly, P. 1981. Feeding ecology of marine cormorants in southwestern North America. *Condor*, 83:120–131.
- Boening, D.W. 2000. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general revision. *Chemosphere*, 40:1335–1351.
- Boyd, I. L.; Wanless S. & Camphuysen, K. 2006. *Top predators in marine ecosystems: their role in monitoring and management*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Burger, J. 2002. Food chains differences affect heavy metals and bird eggs in Barnegat Bay, New Jersey. *Environmental Research Sec. A*, 90:33–39.
- Burger, J. 2015. *Laughing Gull (Leucophaeus atricilla)*, version 2.0. In: *The Birds of North America*. Rodewald, P.G. (Ed.). Cornell Lab of Ornithology. Ithaca, NY, USA.
- Burger, J. & Gochfeld, M. 2000. Metal levels in feathers of 12 species of seabirds from Midway atoll in the northern Pacific Ocean. *The Science of the Total Environment*, 257:37–52.
- Burger, J.; Tsipoura, N.; Niles, L.; Gochfeld, M.; Dey, A. & Mizrahi, D. 2015. Mercury, lead, cadmium, arsenic, chromium and selenium in feathers of shorebirds during migrating through Delaware Bay, New Jersey: Comparing the 1990s and 2011/2012. *Toxics*, 3:63–74.
- Burgess, N. & Meyer, M. 2008. Methylmercury exposure associated with reduced productivity in common loons.

- Ecotoxicology, 17:83–91.
- Cai, Y.; Rooker, J.; Gill, G. & Turner, J. 2007. Bioaccumulation of mercury in pelagic fishes from the northern Gulf of Mexico. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 64:458–469.
- Carbonell, M., Bravo, J.M.; Fernández, C.; López, A.; Fidalgo, L.; Hernández, D.; Soler, F. & Pérez, M. 2007. Contenido hepático de mercurio y plomo en cormorán moñudo (*Phalacrocorax aristotelis*) y alcatraz atlántico (*Morus bassamus*) procedentes de las costas de Galicia (España). *Revista de Toxicología*, 24:31–35.
- Carravieri, A.; Bustamante, P.; Churlaud, C. & Cherel, Y. 2013. Penguins as bioindicators of mercury contamination in the Southern Ocean: birds from the Kerguelen Islands as a case study. *The Science of the Total Environment*, 454:141–148.
- Castillo-Guerrero, J. & Mellink, E. 2011. Occasional inter-sex differences in diet and foraging behavior of the Blue-footed Booby: maximizing chick rearing in a variable environment? *Journal of Ornithology*, 152:269–277.
- Ceyca, J. 2015. *Huevos y embriones de aves marinas como biomonitores de contaminación por mercurio (Hg) y cadmio (Cd) en la costa de Sinaloa, México*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Tesis de Doctorado. Sinaloa, México.
- Codex, 1995. *Codex Alimentarius. General Codex standard for contaminants and toxins present in food and feed*. USA.
- Collazo, J.; Saliva, J. & Pierce, J. 2000. *Conservation of the Brown Pelican in the West Indies*. In: *Status and conservation of West Indian seabirds*. Schreiber, E.A & Lee, D.S. (eds.). Society of Caribbean Ornithology, Spec. Publication # 1. Ruston, LA, USA. pp. 39–45.
- Durant, J.M.; Hjermann, D.Ø.; Frederiksen, M.; Charrassin, J.B.; Maho, Y.L.; Sabarros, P.S.; Crawford, R.J.M. & Stenseth, N.C. 2009. Pros and cons of using seabirds as ecological indicators. *Climate Research*, 39:115–129.
- EPA (Environmental Protection Agency of United States). 2017. *Basic information on mercury*. USA.
- Evers, D.; Savoy, L.; De Sorbo, C.; Yates, D.; Hanson, W.; Taylor, K.; Siegel, L.; Cooley, J.; Bank, M.; Major, A.; Munney, K.; Mower, B.; Vogel, H.; Schoch, N.; Pokras, M.; Goodale, M. & Fair, J. 2008. Adverse effects from environmental mercury loads on breeding common loons. *Ecotoxicology*, 17:69–81.
- FDA, 2000. *Food and drugs administration. National marine fisheries service survey of trace elements in the fishery resource Report 1978, The occurrence of mercury in the fishery resources of the Gulf of Mexico*. Report 2000.
- Furness, R.W. & Camphuysen, K.C.J. 1997. Seabirds as monitors of the marine environments. *ICES Journal of Marine Sciences*, 54:726–737.
- Gao, C. & Huang, X. J. 2013. Voltammetric determination of mercury (II). *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 51:1–12.
- Heinz, G.; Hoffman, D.; Klimstra, J. & Stebbins, K. 2010. Predicting mercury concentrations in mallard eggs from mercury in the diet or blood of adult females and from duckling down feathers. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29:389–392.
- Hernández, M. 2014. *Estudio de la acumulación de metales pesados en aves acuáticas residentes en la población de Chacopata, Península de Araya, Estado Sucre, Venezuela*. Tesis de Maestría. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (I.V.I.C), Centro de Estudios Avanzados. Altos de Pipe. Venezuela.
- Hilty, S.L. 2003. *Birds of Venezuela*. Princeton University Press. Princeton and Oxford, USA.
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea). 1999. *Seabirds as monitors of marine pollution. Report of the working group on seabird ecology*. ICES. Copenhagen, Denmark.
- Kojadinovic, J.; Potier, M.; Le Corre, M.; Cosson, R. P. & Bustamante, P. 2007. Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the Western Indian Ocean. *Environmental Pollution*, 146:548–566.
- Lemus, J. 2014. *Análisis espacial para el ordenamiento de la zona costera del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela*. Terra Nueva Etapa. Universidad Central de

- Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Mallory, M.L.; Braune, B.M.; Provencher, J.F.; Callaghan, D.B.; Gilchrist, H.G.; Edmonds, S.T.; Allard, K. & O'Driscoll, N.J. 2015. Mercury concentrations in feathers of marine birds in Arctic Canada. *Marine Pollution Bulletin*, 98:308–13.
- Marín, G.; Muñoz, J. & Navarro, R. 2008. Composición de la avifauna marino-costera de las fachadas caribe y atlántica de la península de Paria. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 47:103–111.
- Martorell, J. 2009. Intoxicaciones en aves. *Clínica Veterinaria de Pequeños Animales*, 29:172–178.
- McCormick, J.; St. Clair, C. T. & Bendell, L. I. 2014. Concentration and partitioning of metals in intertidal biofilms: implications for metal bioavailability to shorebirds. *Ecotoxicology*, 23:229–235.
- Mellink, E.; Domínguez, J. & Luévano, J. 2001. Diet of Eastern Pacific Brown Boobies, *Sula leucogaster brewsteri* on Isla San Jorge, north-eastern Gulf of California, and an April comparison with diets in the middle Gulf of California. *Marine Ornithology*, 29:23–28.
- Mendoza, J.; Frèon, P.; Guzmán, R. & Aparicio R. 1998. *Sardinella aurita* population dynamics related to environmental parameters in the Southern Caribbean (Venezuela). In: *Global versus local changes in upwelling systems. Collection colloques et seminaries*. Durand, M.; Cury, P.; Mendelsohn, R.; Roy, C.; Bakun, A. & Pauly, D. (eds.). ORSTOM- Paris, France. pp. 239–309.
- Mierzykowski, S.; Welch, L.; Goodale, W.; Evers, D.; Hall, S.; Kress, W. & Bradford, A. 2005. *Mercury in bird eggs from coastal Maine*. U.S. Fish and Wildlife Service Maine Field Office Special Project. USA.
- Monteiro, L.R. & Furness, R.W. 1995. Seabirds as monitors of mercury in the marine environment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 80:851–870.
- Monteiro, L.; Granadeiro, J. & Furness, R. 1998. Relationship between mercury levels and diet in Azores seabirds. *Marine Ecology Progress Series*, 166:259–265.
- Montevicchi, W. & Myers, R. 1996. Dietary changes of seabirds indicate shifts in pelagic food web. *Sarsia*, 80:313–322.
- Muñoz, J.; Marín, G.; Andrade, J.; Zavala, R. & Mata, A. 2012. Trophic position of the Neotropical Cormorant (*Phalacrocorax olivaceus*): integrating dietary analysis with stable isotopes analysis. *Journal of Ornithology*, 153:13–18.
- Norheim, G. 1987. Levels and interactions of heavy metals in sea birds from Svalbard and the Antarctic. *Environmental Pollution*, 47:83–94.
- O'Hanlon, N. 2016. *Seabirds as monitors of the intertidal habitat: a review of the scientific literature*. Ibis. North Ireland & Scotland.
- Peakall, D. & Burger, J. 2003. Methodologies for assessing exposure to metals: speciation, bioavailability of metals, and ecological host factors. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56:110–121.
- Pereira, M.; Walker, L.; Best, J. & Shore, R. 2009. Long-term trends in mercury and PCB congener concentrations in Gannet (*Morus bassanus*) eggs in Britain. *Environmental Pollution*, 157:155–163.
- Pinson, D. & Drummond, H. 1993. Brown Pelican siblicide and the prey-size hypothesis. *Behavior, Ecology and Sociobiology*, 32:111–118.
- Schreiber, R.W. 1980. The Brown Pelican: An endangered species. *BioScience*, 30:742–747.
- Segovia-Zavala, J.; Delgadillo-Hinojosa, F. & Álvarez-Borrego, S. 1998. Cadmium in the coastal upwelling area adjacent to the California–Mexico border. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 46:475–481.
- Shields, M. 2002. *Brown Pelican (Pelecanus occidentalis)*. In: *The birds of North America* N° 609. Poole, A. & Gill, F. (eds). Cornell Lab of Ornithology. Ithaca, NY, USA.
- Schuler, C.A.; Anthony, R.G. & Ohlendorf, H.M. 1990. Selenium in wetlands and waterfowl foods at Kesterson Reservoir, California, 1984. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 19:845–53.
- Thompson, D.R.; Stewart, F.M. & Furness, R. 1990. Using seabirds to monitor mercury in marine environments: The validity of conversion ratios for tissue comparisons. *Marine Pollution Bulletin*, 21:339–342.

Vera, M.; Muñoz, J. & Marín, G. 2016. Determinación de metales pesados (Cr, Cu, Cd, Zn, Ni y Pb) en el alcatraz (*Pelecanus occidentalis* L. 1766), en el estado Sucre, Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 55:19–31.

Received August 1, 2018.
Accepted September 4, 2018.