

MERCURIO TOTAL EN PLUMAS DE
Pelecanus occidentalis EN EL PACÍFICO
VALLECAUCANO¹

TOTAL MERCURY IN FEATHERS OF *Pelecanus
occidentalis* IN THE PACIFIC OF CAUCA VALLEY

◦.....◦

1 El presente artículo es el resultado de la beca jóvenes investigadores “VIRGINIA GUTIÉRREZ DE PINEDA” Convocatoria No. 566, titulado: ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN LA POBLACIÓN DEL PELÍCANO (*Pelecanus occidentalis*) DEL PACÍFICO DEL VALLE DEL CAUCA. Este proyecto fue financiado por la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira y Colciencias.

MERCURIO TOTAL EN PLUMAS DE
Pelecanus occidentalis EN EL PACÍFICO
VALLECAUCANO

○.....

Diego Esteban Gamboa-García
Universidad Nacional de Colombia

Guillermo Duque
Universidad Nacional de Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-2468-529X>

Rosa del Pilar Cogua Romero
Universidad Santiago de Cali
<https://orcid.org/0000-0002-7597-012X>

María Eufemia Freire Tigreros
Universidad Santiago de Cali
<https://orcid.org/0000-0002-9091-1793>

RESUMEN

En los ecosistemas costeros del Pacífico colombiano se ha detectado la presencia del metal en diferentes compartimentos ambientales. El objetivo del presente trabajo fue determinar los niveles de mercurio total (HgT) en plumas y cáscara de huevo de pelícanos (*Pelecanus occidentalis*) en la Bahía de Buenaventura y en Bahía Málaga. Se realizaron tres colectas de plumas encontradas en los ecosistemas (2012-2014), una colecta de cáscara de huevos durante (mayo 2014)- y una colecta de plumas de pieles de pelícanos de la zona (1964), pertenece a la colección del museo INCIVA. El análisis de mercurio se realizó por medición directa con el DMA-80, que consiste en espectrometría de absorción atómica después de descomposición térmica y amalgamiento.

Se determinaron concentraciones de HgT p.s. en plumas tanto en juveniles ($2.11 \pm 0.59 \mu\text{g/g}$ en Buenaventura, $0.49 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$ en Bahía Málaga) como en adultos ($2.79 \mu\text{g/g}$ en Buenaventura; $5.23 \mu\text{g/g}$ en Bahía Málaga). Los niveles de HgT p.s. en plumas de algunos pelícanos superaron los $0.5 \mu\text{g/g}$, lo que sugiere un posible riesgo en el éxito reproductivo de los individuos. Los resultados demostraron que tanto en la bahía de Buenaventura como en Bahía Málaga, hay presencia de mercurio en el ecosistema que está siendo bioacumulado a través de las cadenas tróficas piscívoras.

Palabras clave: Contaminación marina, Bioacumulación, Aves marinas, Parque Nacional Natural

ABSTRACT

In the coastal ecosystems of the Colombian Pacific the presence of the metal in different environmental compartments has been detected. The objective of the present work was to determine the total mercury (HgT) levels in feathers and eggshell of pelicans (*Pelecanus occidentalis*) in Buenaventura Bay and in Malaga bay. Three collections of feathers found in the ecosystems were performed (2012-2014), also a collection of eggshell during the period May 2014 and a collection of pelican skins from the area (1964), belongig to the INCIVA museum collection. Mercury analysis was performed by direct measurement with DMA-80, which is done by atomic absorption spectrometry after thermal decomposition and amalgamation. HgT d.w. concentrations in feathers were determined in both juveniles ($2.11 \pm 0.59 \mu\text{g/g}$ in Buenaventura, $0.49 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$ in Malaga) and in adults ($2.79 \mu\text{g/g}$ in Buenaventura, $5.23 \mu\text{g/g}$ in Malaga). The levels of HgT In feathers of some pelicans exceed $0.5 \mu\text{g/g}$ suggesting a possible risk in the reproductive success of the individuals. The results indicated in both Buenaventura bay and Malaga bay, there is presence of mercury in the ecosystem that is being bioaccumulation through the trophic chains.

Key Words: Marine pollution, Bioaccumulation, Seabirds, Natural Park.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas costeros son susceptibles a los impactos de actividades antrópicas como la descarga de sustancias tóxicas (Kennish, 1996; Islam & Tanaka 2004). Una de estas sustancias es el mercurio, la cual es una sustancia que afecta a nivel biológico las células de los organismos y que también se acumula y biomagnifica en las redes tróficas (Dorea, Barbosa, & Silva, 2006; Bond & Diamond, 2009; Jaeger, Hop & Gabrielsen, 2009; Akearok *et al.*, 2010; Borghesi *et al.*, 2011). La situación se agudiza debido a que se ha reportado que los niveles de mercurio en el ambiente costero se han incrementado (Gracia, Marrugo & Alvis, 2010).

Debido que el mercurio en un ecosistema costero puede acumularse en los tejidos de los peces y biomagnificarse a través de la red trófica (Cogua, 2011). Los asentamientos humanos que sustenten la ingesta de proteína en los recursos pesqueros de zonas contaminadas, pueden estar en riesgo de acumular mercurio en sus tejidos (Arboleda, 1993). Debido a las implicaciones sociales que puede tener la dinámica del mercurio en un ecosistema (Marrugo, Lans & Benitez, 2007; Marrugo *et al.*, 2008), es de gran interés realizar estudios sobre este contaminante.

Como predadores tope, las aves marinas pueden estar expuestas a altas concentraciones de mercurio, ya que estas aves consumen varios kilogramos de peces durante su vida, lo que las hace susceptibles a la biomagnificación del contaminante (Burger & Gochfeld, 2004). Por otro lado, la medición de mercurio en plumas de aves colectadas en museos pueden indicar, los niveles de mercurio históricos de un lugar (Thompson, Furness & Walsh, 1992; Thompson *et al.*, 1998; Ochoa-Acuna, Sepúlveda & Gross, 2002; Burger & Gochfeld, 2004; Zolfaghari *et al.*, 2007; Burger, Jehl & Gochfeld, 2013; Burger, 2013).

El pelícano marrón, *Pelecanus occidentalis*, es un ave marina que se encuentra en el tope de la red trófica marina (Sanjeeva, 2010). El pelícano es una de las especies de aves marinas más representativas y abundantes de la región del Pacífico del Valle del Cauca, donde habitan litorales, zonas costeras, manglares e islas (Falk-fernandez, 2009). El Pacífico del Valle del Cauca comprende la Bahía Málaga, que es un Parque Natural Nacional (Betancourt *et al.*, 2011), y la bahía de Buenaventura, con una fuerte influencia antrópica y donde se ha reportado la presencia de mercurio (Arboleda, 1993, PNUMA 1999; Duque & Cogua, 2009a, 2009b; Cogua & Duque, 2009; Cruz-Mejía, Cogua & Duque, 2010).

Los objetivos del presente trabajo fueron por un lado, determinar la concentración de mercurio total en plumas del *Pelecanus occidentalis* en una población actual y, compararla con individuos de colección de museo. Y por otro lado, comparar la concentración promedio de mercurio total en la población de pelícanos con la media mundial, en la cual se ha reportado riesgo en la reproducción de la especie.

Debido a la facilidad de coleccionar las muestras de plumas de pelícano, y a que no requiere sacrificio de individuos, el estudio se propone como una estrategia de biomonitorio con aportes a la conservación de la población. Estimando el nivel de riesgo al que se encuentra y como un indicador de la disponibilidad de mercurio hacia los niveles superiores de la red trófica de la zona, incluyendo seres humanos.

METODOLOGÍA

Zona de estudio

Esta investigación se desarrolló en la bahía de Buenaventura y en Bahía Málaga. Estas bahías se encuentran entre las latitudes 3.75°N y 4.05° N, y longitudes 77.05°W y 77.45°W. La bahía de Buenaventura se caracteriza por una profundidad promedio de 5 m, sin variabilidad apreciable, sólo el canal portuario que pasa por el centro de la bahía con una profundidad mayor a 15 metros (Otero, 2005). La marea es semidiurna con un rango promedio de 3.7 m y presenta una temperatura del agua que oscila entre los 25.7°C y los 29.8°C (Cantera, Neira & Tovar, 1992; Otero, 2005).

Por otro lado, Bahía Málaga presenta una profundidad promedio entre 12 y 15 m y una profundidad máxima de 40m. Las mareas son semidiurnas con un rango promedio de 4.1 m y una temperatura promedio que oscila entre 25.2°C y 29.7°C (Cantera, Neira & Ricaurte, 1998). Esta bahía hace parte de la jurisdicción Parques Nacionales Naturales, perteneciendo al PNN Uramba Bahía Málaga.

Fase de campo

En Isla Palma, a la entrada de Bahía Málaga, se realizaron dos visitas (noviembre 2013 y mayo 2014) y se recorrieron seis transectos que abarcaron los hábitats: selva, playa e islotes. Se recolectaron de 2 a 3 plumas para cada árbol

donde había por lo menos de 5 a 8 nidos activos de Pelicano. Esta mezcla de 2-3 plumas recogidas del suelo, puede representar de 2-3 individuos aunque no se puede identificar ni el sexo ni la edad (Burger & Gochfeld, 2001). Se colectaron plumas de pecho y espalda de los juveniles que se encontraban en el suelo (Thompson *et al.*, 1998) con una réplica y se almacenaron en bolsas de polietileno y papel libre de metal para evitar contaminación con metales. Para la bahía de Buenaventura se trabajó con muestras del 2012, y con muestras de plumas de pecho y espalda de especímenes del museo INCIVA.

Fase de laboratorio

Pretratamiento de plumas y cáscara de huevo

Las plumas y cáscara se lavaron tres veces con agua destilada, luego con una solución de acetona (1mol/L) y posteriormente, se lavaron con agua deionizada con el propósito de remover contaminación externa de Hg y otros materiales (Burger, Nisbet, & Gochfeld, 1994; Zolfaghari *et al.*, 2007; Kenow *et al.*, 2007; Burger *et al.*, 2008; Borghesi *et al.*, 2011). Además, la remoción del material externo de la pluma se realizó debido a que puede alterar el peso de la pluma, y por lo tanto, alterar los valores de concentración de mercurio (Thompson *et al.*, 1992).

Después de lavadas, las plumas y la cáscara de huevo se secaron a 50°C durante 24 horas, y luego a temperatura ambiente.

Análisis de Mercurio Total en peso seco

Se escogieron plumas al azar de una muestra, se trocearon en piezas menores a 1mm x 1mm y se realizó una mezcla compuesta de la muestra. La cáscara de huevo se pulverizó con un macerador de cerámica. Se extrajeron muestras menores a 20 mg mediante la balanza analítica Adventurer TM OHAUS de 0.1 mg de resolución.

Para el análisis de mercurio total, se usó el Milestone DMA-80 Direct Mercury Analyzer (Milestone GmbH, Germany), que permite el análisis directo en muestras de diferentes matrices mediante el secado de la muestra (300°C), la descomposición térmica (850°C) y catálisis de la misma (600°C). Luego, el amalgamiento del mercurio a 900°C en un hilo de oro, y la posterior espectrometría de absorción atómica en una longitud de onda de 253.65 nm (Han *et al.*, 2003) cuyo límite de detección es 0.2 ppb.

Para el control de calidad del instrumento se preparó una solución y se extrajeron 2 muestras de 50µL de solución con 50ng de Hg cada una. En el DMA-80, se obtuvo primero 49.8171ng y en la segunda 50.1949ng, es decir, una variabilidad menor al 0.18% y 0.39% respectivamente. En adición, se usó el estándar certificado DORM2 4.64 ± 0.26 µg/g, donde la lectura del DMA-80 tuvo una variabilidad menor al 6%. Algunas muestras y controles de calidad fueron medidas mínimo dos veces (Cogua, Campos-Campos & Duque, 2012).

Para revisar la estructura de la pluma a muestrear, se hizo una prueba de HgT en el raquis y en las barbas de una misma muestra compuesta de plumas. Se obtuvo 1.3058 y 1.2512 ppm respectivamente, donde la diferencia relativa entre ellas fue menor al 5%.

Tratamiento de datos

Se realizaron comparaciones entre los niveles detectados para un pelícano adulto colectado en el museo (año 1964) y uno colectado actualmente (2014). A las concentraciones de HgT en plumas de juveniles se les revisó la normalidad, se examinaron las gráficas de residuales para confirmar la normalidad y homogeneidad de varianza. En los casos necesarios se realizó la transformación correspondiente para mejorar normalidad (Green, 1979). Posteriormente, se realizó un ANOVA para identificar diferencias significativas entre el contenido de mercurio en plumas de juveniles colectados en el museo (año 1964) y los colectados actualmente (2014). Se determinó el promedio de concentración de mercurio total en cáscara de huevo y se comparó con otros estudios en Colombia.

Por último, cada muestra obtenida, se comparó con la media mundial de contenido de mercurio total en plumas de aves y con el nivel para plumas de aves, en el cual se han reportado efectos adversos en el éxito reproductivo de las aves.

RESULTADOS

En el museo INCIVA se hizo un muestreo del espécimen IMCN14, correspondiente a un pelícano adulto y dos juveniles (IMCN12 e IMCN13), todos colectados en la bahía de Buenaventura para el año 1964. Para la fecha actual (2012-2014), en Bahía Málaga se colectaron dos juveniles, un adulto, seis

muestras de nidos (no se pudo determinar estado reproductivo) y dos muestras de cáscara de huevo (Tabla 1).

Tabla 1. Promedio±desviación estándar de HgT $\mu\text{g/g}$ peso seco y (n) en plumas de *Pelecanus occidentalis* Pelicano Marrón

	Juvenil	Adulto	Plumas de nido activo	Cáscara de huevo
Año	Bahía de Buenaventura			
1964	2.11±0.59 (2)	2.79 (1)		
	Bahía Málaga			
2012-2014	0.49±0.05 (2)	5.23 (1)	2.49±1.22 (6)	0.01±0.001 (2)

Se determinó que la concentración de HgT en plumas del pelicano adulto actual, fue 1.87 veces mayor que el contenido para el individuo del museo correspondiente al año 1964. Sin embargo, en los juveniles se determinó una mayor concentración en los individuos del museo que en los individuos actuales colectados en Bahía Málaga. La concentración de HgT en las plumas de los juveniles del museo estuvo entre 1.70 y 2.53 $\mu\text{g/g}$, mientras que la concentración de HgT en las plumas de los juveniles de Bahía Málaga estuvo entre 0.45 y 0.54 $\mu\text{g/g}$. Con el ANOVA se determinó que no existen diferencias significativas entre el contenido de HgT en plumas de pelicanos juveniles entre los años 1964 y 2014 (ANOVA, $F=15.17$, $p=0.06$).

En cuanto a los niveles de HgT en plumas colectadas de los nidos activos en Isla Palma, situada en Bahía Málaga, se determinaron valores entre 0.44 y 3.43 $\mu\text{g/g}$ p.s. Mientras que los niveles de HgT en cáscara de huevo de pelicanos colectados en los nidos activos, se determinaron valores entre 0.0064 y 0.0058 $\mu\text{g/g}$ p.s.

En general, todas las muestras estuvieron por debajo de la media mundial de HgT en plumas de aves (5.6 $\mu\text{g/g}$) (Burger & Gochfeld, 2001). Por otro lado, sólo la muestra del adulto colectado en Málaga (5.23 $\mu\text{g/g}$), está en el rango de concentración de HgT en plumas que se ha correlacionado con el detrimento en el éxito reproductivo de algunas especies de aves piscívoras, que es entre 5 y 40 $\mu\text{g/g}$ (Ochoa-acuna *et al.*, 2002; Kojadinovic *et al.*, 2007).

Respecto a las cáscaras de huevo de pelícano en Bahía Málaga, se determinó una concentración promedio de $0.01 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$ p.s. En otro estuario tropical de Colombia, la bahía de Cartagena un sitio impactado por las descargas mercurio de una planta de soda cáustica, se ha reportado que los niveles de HgT en cáscara de huevos de la garza *Egretta thula* fueron de $0.02 \pm 0.002 \mu\text{g/g}$ p.s. Este resultado se relacionó con menor calidad en la cáscara de huevo, mientras que para sitios no contaminados fue de $0.007 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$ p.s. (Olivero, Agudelo-Frias, & Caballero-Gallardo, 2013).

DISCUSIÓN

En Bahía Málaga, se detectaron niveles de HgT en plumas apreciables tanto para adultos como para los nidos activos, teniendo en cuenta que hacen parte de una zona protegida. Esto puede explicarse debido a que el rango de hábitat del pelícano está entre los 80 y 100 km para adultos y algunos juveniles (Falk-Fernandez, 2009). Este rango cubre tanto la bahía de Buenaventura como Bahía Málaga, lo que los hace exponerse a diferentes niveles de disponibilidad del contaminante.

Se ha reportado que la concentración de mercurio en plumas de juveniles y en huevos puede ser una medida indirecta de concentración de mercurio en la zona de anidación (Goutner, Furness & Papakostas, 2011). Se determinó que la concentración de HgT en plumas de juveniles de Bahía Málaga ($0.49 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$), fue menor a la de los juveniles colectados en el museo que pertenecieron a la bahía de Buenaventura en el año 1964 ($2.11 \pm 0.59 \mu\text{g/g}$). Lo que ratifica el papel de bahía Málaga como Área Marina Protegida por tener niveles inferiores de contaminación. No obstante, el hecho que se hayan determinado concentraciones de HgT en plumas de juveniles y en los nidos de bahía, sugiere que la contaminación de la bahía de Buenaventura, por acción de mareas y transporte, puede estar influenciando al ecosistema de Bahía Málaga.

Según los niveles determinados en los individuos colectados en el museo, es importante resaltar que desde hace más de 50 años que se reporta la presencia de HgT en el ecosistema de la bahía de Buenaventura, y que los procesos de acumulación y biomagnificación se vienen dando desde esa época o incluso antes. El documento más antiguo que se encontró para explicar esta situación fue el de García (1978), en el cual se reporta que se solicitaron ante el Ministerio de Minas y Energía de Colombia, más de 9000 hectáreas para extracción de oro en la región y que la bahía de Buenaventura ha recibido las descargas de diferentes ríos los cuales atraviesan muchas zonas de actividades antrópicas.

Teniendo en cuenta que el HgT detectado en las plumas de aves piscívoras corresponde en más del 90% a metilmercurio (Bond & Diamond, 2009), el hecho que se haya determinado HgT en todas las muestras, sugiere que el Hg en el ambiente está biodisponible para ingresar a la red trófica.

CONCLUSIONES

Con esta propuesta de investigación se logró determinar por primera vez, las concentraciones de mercurio en aves del pacífico del Valle del Cauca. Además, se logró establecer el muestreo de plumas y la determinación de mercurio en éstas como un método no destructivo que puede permitir monitoreos continuos y no tan costosos. Se logró también, medir los niveles históricos de mercurio en plumas en los pelícanos de la zona, gracias al uso de plumas de la colección de pieles del INCIVA, lo que permitió un estudio a una gran escala temporal.

Los individuos y los nidos muestreados no superaron la media mundial de HgT en plumas, y sólo un individuo superó el límite mínimo del rango de HgT en plumas que se ha correlacionado con detrimento en el éxito reproductivo de aves. Sin embargo, los niveles determinados en las muestras permiten establecer que, desde 1964 o antes, existe la biodisponibilidad del mercurio en la red trófica para predadores tope como las aves piscívoras.

La concentración promedio de HgT en plumas de juveniles de Bahía Málaga actualmente (0.49 ± 0.05), no fue significativamente diferente a la de los juveniles del museo correspondientes a la bahía de Buenaventura (2.11 ± 0.59). Pese a esto, el hecho de detectar HgT en plumas de juveniles y nidos de Bahía Málaga, puede sugerir una influencia de la contaminación de la bahía de Buenaventura sobre el ecosistema de Bahía Málaga.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la institución Colciencias y su convenio con la Universidad Nacional Sede Palmira, que a través del apoyo con la convocatoria “Jóvenes Investigadores e Innovadores 566 de 2012” y con la gestión de DIPAL, hicieron efectiva esta beca con la cual se realizó este estudio. Agradezco al Grupo de Investigación en Ecología y Contaminación Acuática, y sus miembros, sin su conocimiento, experiencia y amistad no hubiera sido posible la investigación. Gracias por el apoyo del personal del Laboratorio de Química de aguas y Toxicología de la Universidad de Córdoba y su Director

José Luis Marrugo. Gracias al Zoólogo, Raúl Ríos Herrera, director de la colección zoológica del INCIVA, por su gestión para el trabajo con especímenes. Gracias a los miembros del Área protegida, Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga. Gracias a DIMAR (Dirección General Marítima) por permitir el ingreso a la Isla y a su personal de vigilancia, quien fue de gran ayuda para la colecta de muestras e información sobre el pelícano, y gracias al laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Akearok, J., Hebert, C., Braune, B., & Mark L. Mallory. (2010). *Inter- and intraclutch variation in egg mercury levels in marine bird species from the Canadian Arctic*. Science of the Total Environment 408; 836–840.
- Arboleda, H. (1993). *Bahía Málaga: Realidad o Desastre*. Profesor del Departamento de Economía, Director de Cenipacífico. Boletín Universidad del Valle. Diciembre.
- Betancourt, J., Gregorio, J., Mejía-Ladino, L. & J. Rica. (2011). *Calidad de las aguas superficiales de Bahía Málaga, Pacífico Colombiano*. Acta Biológica Colombiana. 16 (2) Bogotá Mayo/Ago.
- Bond, A. L., & Diamond, A. W. (2009). *Total and methyl mercury concentrations in seabird feathers and eggs*. Archives of environmental contamination and toxicology, 56(2), 286-291
- Borghesi, F., Andreotti, A., Baccetti, N., Bianchi, N., Birke, M., Migani, F., & Dinelli, E. (2011). *Flamingo feathers to monitor metal contamination of coastal wetlands: methods and initial results concerning the presence of mercury at six Mediterranean sites*. Chemistry and Ecology, 27(sup2), 137-151
- Burger, J., Nisbet, I. C. T., & Gochfeld, M. (1994). *Heavy metal and selenium levels in feathers of known-aged common terns (Sterna hirundo)*. Archives of environmental contamination and toxicology, 26(3), 351-355.
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2001). *Metal levels in feathers of cormorants, flamingos and gulls from the coast of Namibia in Southern Africa*. Environmental monitoring and assessment, 69(2), 195-203.
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2004). *Marine birds as sentinels of environmental pollution*. EcoHealth, 1(3), 263-274.

- Burger, J., Gochfeld, M., Sullivan, K., Irons, D., & McKnight, A. (2008). *Arsenic, cadmium, chromium, lead, manganese, mercury, and selenium in feathers of Black-legged Kittiwake Rissa tridactyla and Black Oystercatcher Haematopus bachmani from Prince William Sound, Alaska*. Science of the Total Environment, 398(1), 20-25.
- Burger, J. (2013). *Temporal trends (1989–2011) in levels of mercury and other heavy metals in feathers of fledgling great egrets nesting in Barnegat Bay, NJ*. Environmental research.
- Burger, J., Jehl Jr, J. R., & Gochfeld, M. (2013). *Selenium: mercury molar ratio in eared grebes (Podiceps nigricollis) as a possible biomarker of exposure*. Ecological Indicators, 34, 60-68.
- Cantera, J. R., Neira, R. & Tovar, J. (1992). *Efectos de la contaminación doméstica sobre la macrofauna bentónica de sustratos blandos en la costa pacífica colombiana*. Revista de Ciencias, 7, 21-39.
- Cantera, J., R. Neira, & C. Ricaurte. (1998). *Bioerosión en la costa Pacífica colombiana: un estudio de la biodiversidad, la ecología y el impacto de los animales destructores de acantilados rocosos sobre el hombre*. Fondo FEN Colombia. 89.
- Cogua P., & G. Duque. (2009). *Anormalidades nucleares en eritrocitos causados por mercurio en peces (mojarra) de la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano*. IX Congreso de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental- Latinoamérica. Biologist (Lima) 7 (1-2), Special Issue, Jan-Dec; C052
- Cogua, P. (2011). *Estudio comparativo del flujo de mercurio a través de redes detritívoras y planctívoras en un estuario tropical*. Tesis doctoral Universidad Nacional de Colombia. Disponible: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5349/>. Accessed 15 March 2014
- Cogua, P., Campos-Campos, N. H., & Duque, G. (2012). *Total mercury and methylmercury concentration in sediment and seston of Cartagena bay, colombian caribbean*. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, 41(2), 267-285.
- Cruz-Mejía, M.F., Cogua, P. & Duque, G. (2010). *Bioacumulación y biomagnificación de mercurio en peces de interés comercial en la bahía de Buenaventura*. XIV Seminario nacional de ciencias y tecnologías del mar. 60
- Dorea, J., Barbosa, A., & Gilmar S. Silva. (2006). *Fish mercury bioaccumu-*

- lation as a function of feeding behavior and hydrological cycles of the Rio Negro, Amazon. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C* 142; 275–283.
- Duque, G., & Cogua, P (2009 a). *Anormalidades nucleares en eritrocitos causados por mercurio en peces (lisa) de la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano*. IX Congreso de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental- Latinoamérica. *Biologist (Lima)* 7 (1-2), Special Issue, Jan-Dec; C051.
- Duque, G., & Cogua, P. (2009 b). *Efectos genotóxicos causados por mercurio en peces en la Bahía de Buenaventura (Valle del Cauca), Colombia*. *Actualidades Biológicas*. 31, Supl. 1
- Falk-Fernández, P. (2009). *Pelicano común*. En Cifuentes-Sarmiento, Y y C. Ruiz-Guerra (eds.) *Planes de acción para nueve especies de aves acuáticas (Marinas y Playeras) de las costas colombianas*. Asociación Calidris. Cali, Colombia.
- García, E. (1978). *El oro en Colombia. Boletín de la sociedad Geográfica de Colombia*. 113 (33).
- Goutner, V., Furness, R. W., & Papakostas, G. (2001). *Mercury in feathers of Squacco Heron (Ardeola ralloides) chicks in relation to age, hatching order, growth, and sampling dates*. *Environmental pollution*, 111(1), 107-115.
- Gracia, H.L., Marrugo, J.L., & Alvis, E.M. (2010). *Mercury contamination in humans and fishes in the municipality of Ayapel, Córdoba, Colombia*. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 28(2); 118-124.
- Green, R. H. (1979). *Sampling design and statistical methods for environmental biologists*. John Wiley and Sons, New York, NY, USA.
- Han, Y., Kingston ,H. M., Boylan, H. M., Rahman, G. M. M., Shah, S., Richter, R. C., Link, D. D., & Bhandari, S. (2003). *Speciation of mercury in soil and sediment by selective solvent and acid extraction*. *Anal Bioanal Chem*, 375, 428 – 436
- Islam, S., & Tanaka, M. (2004). *Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis*. *Marine poll bull*, 48(7), 624-649.
- Jaeger, I., Hop, H., & Geir, W. G. (2009). *Biomagnification of mercury in selected species from an Arctic marine food web in Svalbard*. *Science of the Total Environment*, 407, 4744–4751

- Kennish, M.J. (1996). *Practical handbook of estuarine and marine pollution*. CRC press marine science series, 10, 544.
- Kenow, K. P., Meyer, M. W., Hines, R. K., & Karasov, W. H. (2007). *Distribution and accumulation of mercury in tissues of captive-reared common loon (Gavia immer) chicks*. Environmental toxicology and chemistry/ SETAC, 26(5), 1047.
- Kojadinovic, J., Bustamante, P., Churlaud, C., Cosson, R. P., & Le Corre, M. (2007). *Mercury in seabird feathers: Insight on dietary habits and evidence for exposure levels in the western Indian Ocean*. Science of the Total Environment, 384(1), 194-204.
- Marrugo, J., Lans, E., & L. Benitez. (2007). *Hallazgo de mercurio en peces de la Ciénaga de Ayapel, Córdoba Colombia*. Revista MVZ Cordoba, 12, 878-886.
- Marrugo, J., Olivero, J., Lans, E., & L. Benitez. (2008). *Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia*. Environmental Geochemistry Health, 30, 21-30.
- Ochoa-Acuna, H., Sepúlveda, M. S., & Gross, T. S. (2002). *Mercury in feathers from Chilean birds: influence of location, feeding strategy, and taxonomic affiliation*. Marine pollution bulletin, 44(4), 340-345.
- Olivero, J., Agudelo-Frias, D., & Caballero-Gallardo, K. (2013). *Morphometric parameters and total mercury in eggs of snowy egret (Egretta thula) from Cartagena Bay and Totumo Marsh, north of Colombia*. Marine pollution bulletin, 69(1), 105-109.
- Otero, L. (2005). *Aplicación de un Modelo Hidrodinámico Bidimensional para describir las corrientes y la propagación de la Onda de Marea en la Bahía de Buenaventura*. Boletín Científico CCCP, 12, 9-21.
- PNUMA. (1999). *Diagnóstico regional sobre las actividades y fuentes terrestres de contaminación que afectan los ambientes marinos, costeros y dulceacuícolas en el Pacífico sudeste*. Programa de Mares Regionales del PNUMA, 169, 106.
- Sanjeeva, P.J. (2010). *Eco-Management for Successful Pelican Conservation*. Indian Journal of Environmental Education, 10, 5 - 12.
- Thompson, D. R., Furness, R. W., & Walsh, P. M. (1992). *Historical changes in mercury concentrations in the marine ecosystem of the north and north-east Atlantic Ocean as indicated by seabird feathers*. Journal of Applied Ecology, 79-84

- Thompson, D. R., Bearhop, S., Speakman, J. R., & Furness, R. W. (1998). *Feathers as a means of monitoring mercury in seabirds: insights from stable isotope analysis*. Environmental Pollution, 101(2), 193-200.
- Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., Ghasempouri, S. M., & Kiabi, B. H. (2007). *Examination of mercury concentration in the feathers of 18 species of birds in southwest Iran*. Environmental research, 104(2), 258-265.

