



Serie Investigación

METALES PESADOS EN NUESTRA MESA

CONTAMINACIÓN DE PECES DE CONSUMO HUMANO EN COLOMBIA

Marlenny Díaz Cano
Ellie Anne López Barrera
Compiladoras



UNIVERSIDAD
SERGIO ARBOLEDA



Marlenny Diaz Cano

Profesional en Educación, Licenciada en Idiomas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; abogada de la Universidad Nacional de Colombia, Magíster en Estudios del Desarrollo con énfasis en Medio Ambiente y Especialista en Planificación y administración del desarrollo regional del Centro Interdisciplinario de Estudios sobre Desarrollo CIDER de la Universidad de los Andes (Bogotá). Doctorante en Sociología. Áreas de desempeño investigativo y de publicaciones en: análisis de política pública ambiental, y gobernanza marino-costera, participación ciudadana y sociología rural. Actualmente directora de la línea de investigación marino-costera y portuaria del Grupo Joaquín Aaron Manjarrés de la Escuela de Derecho (categoría A1 según MINCIENCIAS). Catedrática en derecho marítimo y portuario, antropología cultural y del desarrollo, derecho ambiental, metodología de la investigación, y derecho internacional privado.



Ellie Anne López Barrera

Profesional en Biología Marina graduada de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (2005) con estudios de Maestría en Oceanografía biológica y Doctorado en Ecología y conservación de la Universidade Federal do Paraná, Brasil (2007-2013). Con experiencia en el área de ciencias biológicas – multidisciplinar. Experiencia en docencia, gestión ambiental e investigación en programas de pregrado y posgrado en Instituciones de Educación Superior. Desarrolla actividades de docencia e investigación en áreas de ecología, ecosistemas y biodiversidad, sistemas costeros y oceánicos, ingeniería ambiental y ecotoxicología acuática. Conocimiento sobre gestión de riesgo ambiental, cambio climático, servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica, calidad ambiental y salud pública, gestión e ingeniería ambiental. Líder de investigación del Grupo IDEASA- Medio Ambiente y Sostenibilidad (Categoría B según MINCIENCIAS).



METALES PESADOS EN NUESTRA MESA

CONTAMINACIÓN DE PECES DE CONSUMO HUMANO EN COLOMBIA

La contaminación de peces de consumo humano por sustancias tóxicas es un problema mundial que impacta no solo desde lo ambiental sino también en aspectos de salud pública, pues pone en riesgo la garantía de la inocuidad alimentaria. El presente libro presenta resultados de la investigación multidisciplinaria *Sistema de Información sobre contaminación de peces para consumo humano por metales pesados en Colombia* que, desde el año 2017, se interesó por ahondar en las características, nivel y vías de regulación de este tipo de sustancia tóxica en peces dulceacuícolas y marinos del país. Los capítulos en conjunto aportan un panorama actualizado de la producción científica en la materia, un análisis del marco regulador y aspectos relacionados con la percepción ciudadana frente al riesgo por consumo de peces contaminados. Destacan entre los resultados, la preocupante evidencia del nivel del problema con el mercurio como gran protagonista; que aunque existe una producción normativa esta resulta deficiente para gestionar el control en toda la cadena del alimento; y, al final, que los consumidores tienen una percepción tal que denota un conocimiento superficial y en ocasiones confuso, sobre las implicaciones de este tipo de riesgo para la salud.



Instituto de Estudios y Servicios Ambientales - IDEASA

UNIVERSIDAD SERGIO ARBOLEDA

Carrera 15 No. 74-40. Tels.: (571) 3257500 ext. 2131 - 3220538. Bogotá, D.C.

Calle 18 No. 14A-18. Tels.: (575) 4203838 - 4202651. Santa Marta.

Calle 58 No. 68-91. Tel.: (575) 3689417. Barranquilla

www.usergioarboleda.edu.co

METALES PESADOS EN NUESTRA MESA

CONTAMINACIÓN DE PECES DE CONSUMO
HUMANO EN COLOMBIA

MARLENNY DIAZ CANO
ELLIE ANNE LÓPEZ BARRERA
Compiladoras

RAFAEL BARRAGÁN GONZÁLEZ
Autor invitado



UNIVERSIDAD
SERGIO ARBOLEDA

Instituto de Estudios y Servicios Ambientales - IDEASA
Bogotá, Colombia
2020

Diaz Cano, Marlenny

Metales pesados en nuestra mesa: contaminación de peces de consumo humano en Colombia / Marlenny Diaz Cano, Ellie Anne López Barrera, compiladores; Rafael Barragán González, autor invitado – Bogotá: Universidad Sergio Arboleda. Escuela de Ciencias de la Comunicación, 2020.

139 p.

ISBN: 978-958-5511 (.pdf)

1. Contaminación de productos pesqueros - Colombia 2. Contaminación alimentos – Colombia 3. Control del pescado - Colombia 4. Pescado como alimento I. Díaz Cano, Marlenny, comp. II. López Barrera, Ellie Anne, comp. II. Barragan González, Rafael IV. Título

641.39

METALES PESADOS EN NUESTRA MESA CONTAMINACIÓN DE PECES DE CONSUMO HUMANO EN COLOMBIA

ISBN: 978-958-5158-12-2 (.pdf)

DOI: 10.22518/book/9789585158122

© Universidad Sergio Arboleda
Instituto de Estudios y Servicios
Ambientales – IDEASA
Compiladoras
Marlenny Diaz-Cano
Ellie Anne López-Barrera
Autores
Marlenny Diaz-Cano
Ellie Anne López-Barrera
Rafael Barragán González

Primera edición: noviembre de 2020

Fondo de Publicaciones de la
Universidad Sergio Arboleda.

Este libro tuvo un proceso de arbitraje doble ciego.

El contenido del libro no representa la opinión de la Universidad Sergio Arboleda y es responsabilidad de los autores.

Edición:

Diana Niño Muñoz
Deisy Janeth Osorio Gómez
Dirección de Publicaciones Científicas

Diseño y diagramación:

Maruja Esther Flórez Jiménez

Corrección de estilo:

Yuly Rocío Orjuela Rozo
Fondo de Publicaciones
Universidad Sergio Arboleda
Calle 74 No. 14-14.
Teléfono: (571) 325 7500 ext. 2131/2260
www.usergioarboleda.edu.co
Bogotá, D.C.



Licencia de uso: esta licencia permite descargar y compartir las obras publicadas en este libro, sin modificaciones ni uso comercial.

Contenido

Prólogo	11
Presentación	15
Introducción	19
Metales pesados en peces	21
Referencias	23
Capítulo 1	
Estado del conocimiento sobre presencia de metales en peces de Colombia	25
Resumen	25
Introducción	25
Materiales y métodos	28
Resultados y discusión	28
Conclusiones	38
Referencias	39
Capítulo 2	
La contaminación de peces por metales en Colombia y sus vías de control institucional	47
Resumen	47
Introducción	48
Materiales y métodos	48
Resultados y discusión	49
Nivel del problema en Colombia	49
Vías de gestión desde la política pública	52
Descripción de las vías identificadas y observaciones de eficacia	54
Primera vía. Garantista - Protección constitucional de derechos.....	54
Segunda vía. Prescriptiva, sancionatorio y de control con alcance a posteriori y reactivo.	56
Tercera vía. Normas de libre adhesión y de derecho internacional.....	60
Cuarta Vía. El enfoque Preventivo- Control sobre factores de riesgo....	63
Conclusiones	65
Referencias	66
Capítulo 3	
Aplicación del modelo interpretativo estructural para el análisis de la percepción de la comunidad frente al riesgo por consumo de metales a través la dieta	75
Resumen	75
Introducción	76
Materiales y métodos	77
World Café	77
Modelamiento estructural interpretativo (ISM).....	79
Resultados y discusión	82
Modelo estructural interpretativo (ISM)	85
Conclusiones.....	88
Referencias	89

Capítulo 4

Potencial de riesgo humano por el consumo de metales presentes en alimentos, en el mercado de productos pesqueros de Bogotá	93
Resumen	93
Introducción	94
Materiales y métodos	96
Determinación de metales en productos pesqueros	96
Determinación de riesgo de consumo	97
Índice de contaminación por metales (MPI)	97
Exposiciones a múltiples especies ($E_{m,j}$)	97
Exposición a múltiples químicos ($E_{j,m}$)	98
Cocientes de riesgo (THQ)	98
Aplicación de encuestas	99
Resultados y discusión	99
Determinación de concentraciones de metales tóxicos	99
Determinación del riesgo por consumo	102
Caracterización del consumo de productos pesqueros en Bogotá	104
Conclusiones	108
Referencias	109

Capítulo 5

Contaminación de peces con mercurio en Colombia. Caracterización del problema y eficacia de su control desde el enfoque de la inocuidad alimentaria	111
Resumen	111
Introducción	112
Materiales y métodos	113
Resultados y discusión	114
Características generales del problema de Mercurio en peces	114
Límites máximos permitidos (LMP) y excedidos (LME) de Hg	116
Nivel de problema en Colombia	117
Reportes de Hg en peces -Colombia.	117
Reportes sobre presencia de Hg en poblaciones del país.	120
Fuentes de contaminación	121
Control preventivo al problema de peces contaminados con Hg, desde el enfoque de la inocuidad alimentaria	122
Inocuidad alimentaria y contaminación ambiental	124
Observaciones de eficacia del Sistema ARICPC	125
Conclusiones	130
Referencias	130

Lista de tablas

Tabla 1	Fuentes, impactos y límites máximos de metales pesados en peces	21
Tabla 2	Resumen de concentraciones máximas y mínimas de metales pesados (µg/g, peso húmedo) en músculo de peces reportados en Colombia 1990-2019 que exceden el límite máximo permitido en pescado de consumo humano. Resolución 122 de 2012.....	31
Tabla 3	Reportes amplios sobre presencia de metales pesados en peces – Colombia entre 1998 a 2018	49
Tabla 4	Concentraciones de metales pesados en peces muy cerca al límite permitido o que lo sobrepasan según la Resolución 122 de 2012 del Ministerio de Salud de Colombia	50
Tabla 5	Vías identificadas para la gestión de la contaminación de peces por metales pesados	53
Tabla 6	Preguntas guía para el desarrollo de cada eje temático de acuerdo con cada aspecto abordado en el “Taller Metales tóxicos en nuestra mesa: exposición, riesgos y aplicaciones”	78
Tabla 7	Caracterización de aspectos y causas de la percepción de la problemática de contaminación de productos pesqueros de consumo por metales pesados	80
Tabla 8	Matriz estructural de autointeracción de aplicación del ISM, para analizar la percepción de la problemática de contaminación de productos pesqueros de consumo, por metales pesados.....	81
Tabla 9	Matriz de accesibilidad. La suma horizontal determina el poder determinante y la suma vertical el nivel de dependencia de cada factor	82
Tabla 10	Resultados de caracterización de causas de la problemática en Santa Marta y Bogotá.....	82
Tabla 11	Resultados de caracterización de causas de la problemática en las dos regiones estudiadas.....	83

Tabla 12	
Resultados de caracterización de causas de la problemática en las dos regiones estudiadas.....	85
Tabla 13	
Medias de concentraciones de Pb, Cd, As y Hg (mg/kg ww) en ocho especies de peces de mayor consumo en Bogotá D.C., Colombia.....	100
Tabla 14	
Límites máximos permitidos de mercurio en peces.....	116
Tabla 15	
Reportes de límites máximos excedidos (LME) de mercurio Hg/ y metilmercurio MeHg en peces para Colombia	118

Lista de figuras

Figura 1	
Número de documentos científicos que registran presencia de metales en Colombia 1990-2019	29
Figura 2	
Registro de documentos científicos con presencia de metales en el período de 1990-2019	29
Figura 3	
Registro de documentos científicos con presencia de mercurio en cuencas de Colombia 1990-2019	30
Figura 4	
Modelo estructural interpretativo para el ejercicio realizado en la ciudad de Santa Marta.....	86
Figura 5	
Índice de contaminación por metal (MPI) en ocho especies de peces de consumo en Bogotá D.C.	102
Figura 6	
Índices exposición a múltiples químicos (Ej.m) y coeficiente de riesgo (THQ) en ocho especies de peces de consumo en Bogotá D. C.....	103
Figura 7	
Preferencia de consumo de alimento de origen pesquero por estrato socioeconómico en Bogotá.....	104
Figura 8	
Frecuencia de consumo de alimentos de origen pesquero en la ciudad de Bogotá	105
Figura 9	
Reportes de mercurio en peces por departamento en Colombia 1990-2018	118

Acrónimos, símbolos y siglas

ARICPC: Sistema de Análisis de Riesgos y Puntos críticos.

As: Arsénico.

AUNAP: Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca.

BPA: Buenas Prácticas Agrícolas.

BPH: Buenas Prácticas de Higiene.

BPM: Buenas Prácticas de Manufactura.

Cd: Cadmio.

CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social.

Cr: Cromo.

Cu: Cobre.

DNP: Departamento Nacional de Planeación.

DOFA: Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas.

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

ENSIN: Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia.

E_{j,m}: *Multiple Chemical Exposure* (Exposición Química Múltiple).

E_{m,j}: *Multiple Species Exposures* (Exposición de Especie Múltiple).

ETA: Enfermedades Transmitidas por Alimentos.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

g/L: Gramo por litro.

Hg: Mercurio.

INCODER: Instituto Colombiano de Desarrollo Rural.

INVIMA: Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos.

INS: Instituto Nacional de Salud.

ISM: *Interpretive Structural Modelling* (Modelamiento Estructural Interpretativo).

IVC: inspección Vigilancia y control.

LMP: Límite máximo permitido de contaminante en alimento.

LME: Límite máximo excedido de contaminante en alimento.

MADS: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible de Colombia.

MINSALUD: Ministerio de Salud de Colombia.

MPI: *Metal Pollution Index* (Índice de Contaminación del Metal).

Ni: Níquel.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

Pb: Plomo.

PNSAIA: Política Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de Alimentos para el Sistema de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias.

PTDI: Ingesta Diaria Provisional Tolerable.

PTWI: Ingesta Semanal Provisional Tolerable.

SIVIGILA: Sistema de Vigilancia y Control en Salud pública.

THQ: *Target Hazard Quotient* (Cociente de Riesgo Objetivo).

µg/l: Microgramo por litro.

WC: World café.

THQ: *Target Hazard Quotient* (Cociente de Riesgo o Peligrosidad).

Zn: Zinc.

Estado del conocimiento sobre presencia de metales en peces de Colombia

Ellie Anne López Barrera - Marleny Díaz Cano

Resumen

En Colombia, varios han sido los estudios realizados a propósito de la contaminación causada por metales en diferentes contextos ecosistémicos y sociales. El presente capítulo expone los resultados de una exhaustiva exploración bibliográfica acerca de los estudios llevados a cabo al respecto en el país. Mediante el uso de buscadores de internet y motores de búsqueda especializados disponibles en ScienceDirect y Scopus, se revisaron los documentos disponibles en bases de datos virtuales. Asimismo, se realizaron referencias cruzadas a partir de los documentos hallados; se tuvo en cuenta la orientación de profesionales y científicos que han trabajado esta problemática y se incluyó la información disponible en artículos científicos después de ser revisada y organizada. Se realizó un análisis por macrocuencas, de 66 artículos publicados para identificar la presencia de metales en ictiofauna y las áreas de mayor registro de concentraciones de metales pesados en matriz agua y sedimento. La búsqueda permitió, además, identificar diferentes estudios enfocados en ecotoxicología, toxicología ambiental, genotoxicidad y salud pública.

Introducción

La contaminación por metales es una problemática global debido a que esta puede ocurrir en ecosistemas

terrestres, acuáticos y, especialmente, marinos –fuente esencial de alimentos para la población mundial–. Varios factores determinan la disponibilidad de metales en el agua: la temperatura, el pH, la solubilidad, entre otros; la cual puede alterar la estructura de la cadena alimentaria, a la vez que incrementa los niveles tóxicos de mercurio en peces de consumo humano. El cambio provocado en las características ambientales de los ecosistemas puede impactar a comunidades vulnerables, puesto que los procesos de disponibilidad de los metales acarrearán un escenario de exposición a los peces, los cuales, paralelamente, son consumidos por el ser humano como fuente principal de proteína.

Asimismo, el cambio climático se constituye como un factor que está transformando la forma como los contaminantes se mueven en el medioambiente, en gran parte por el cambio en la química de los océanos y la afectación de la fisiología, la salud y la ecología de la alimentación de la biota marina. Es probable que con los impactos sobre la estructura y la función de las redes alimentarias marinas asociados con el cambio climático –con los consiguientes cambios en el transporte–, el destino y los efectos de los contaminantes tengan repercusiones significativas en aquellas poblaciones humanas que dependen de los recursos pesqueros para la alimentación, la recreación o la cultura (Alava *et al.*, 2017).

Las interacciones entre el cambio climático y los contaminantes también se han evaluado con un enfoque en la biomagnificación, con el fin de explorar cómo el cambio climático y la acidificación del océano pueden afectar los niveles de contaminantes en las redes alimentarias marinas. Ese tipo de análisis ha servido, además, para definir políticas de riesgo ecológico y socioeconómico (Schiedek *et al.*, 2007; Cabral *et al.*, 2019). Así mismo, se ha determinado que el cambio climático produce un aumento de metilmercurio en algunos de los peces más ingeridos por los humanos, especialmente los de niveles tróficos superiores, como los carnívoros (Booth y Zeller, 2005).

La modelación integral de factores ambientales, como el incremento de la temperatura del mar y la sobrepesca, reportan el efecto directo de estos en los niveles de mercurio de peces marinos. Los resultados demuestran que, a pesar de que la regulación de emisiones de mercurio ha reducido con éxito los niveles de metilmercurio en los peces en los últimos años, las altas tempe-

raturas incrementarán los niveles de metilmercurio de la vida marina en el futuro (Schartup *et al.*, 2019).

En los últimos tiempos se han evidenciado dificultades en los sistemas de control sanitario para hacer frente a nuevos factores de contaminación de alimentos que amenazan su inocuidad (considerada un requisito básico de la calidad, la cual implica la ausencia de contaminantes). Dentro de las acciones tomadas, se encuentran las que buscan garantizar la máxima seguridad posible, desde la producción de los alimentos hasta el consumo. Para ello, se ha requerido cambiar esquemas de actuación de los actores encargados de dar solución al problema, de manera que promuevan estrategias de prevención y reducción de los riesgos y amenazas.

Uno de los tipos de contaminación que ha requerido nuevas estrategias de detección y prevención es la contaminación de alimentos por metales pesados (cadmio, arsénico, plomo, mercurio, entre otros); ante la cual, Colombia no está ajena, especialmente ante la que se refiere a los peces para consumo humano. Existe una amplia bibliografía que incluye reportes de concentraciones de metales pesados en los peces de prácticamente la totalidad de las cuencas hídricas del país, lo cual afecta la inocuidad de los alimentos y constituye un factor de enfermedades asociadas con la presencia de metales en humanos.

Esta problemática deriva en la necesidad de conocer qué estudios han registrado la presencia de metales pesados, concentraciones tóxicas y las causas y efectos en ecosistemas y en organismos dulceacuícolas y marinos, para el caso colombiano. Esta información es un referente base que permite evaluar la eficiencia de políticas públicas nacionales y constituye un factor relevante para la gestión del riesgo por consumo de metales provenientes de productos pesqueros que puedan estar contaminados con metales pesados. Los resultados de este capítulo permitirán el desarrollo de estrategias para el fortalecimiento de la comunicación y la gestión del riesgo por consumo de peces contaminados por metales tóxicos. Así también, esta exploración permitirá aportar desde la academia a la implementación del componente comunicativo, tecnológico y de gestión del riesgo de la *Política nacional de sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos para el sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias* (DNP, 2005) y sus principales instrumentos.

Materiales y métodos

Con el fin de contribuir al conocimiento de esta problemática en el país, esta investigación desarrolló una plataforma virtual (www.redraus.com.co/infopez) que suministra información veraz, óptima y oportuna sobre contaminación de peces para consumo humano por metales pesados en Colombia. El sitio permite la consulta ciudadana y coadyuva a los procesos de diseño de política y a la evaluación de la acción pública al tema. Esta plataforma es alimentada por una base de datos registrada que se actualiza con metadatos de la revisión documental soportada en una búsqueda bajo la lista de recomendaciones de PRISMA (Urrutia y Bonfill, 2010), para búsqueda de información secundaria disponible para consulta.

A través de metabuscadores generales (Google y bases de datos de universidades) y específicos (Scopus, Science Direct, y Google Scholar), se determinaron búsquedas –tanto en español como en inglés– bajo los criterios de especificidad y sensibilidad. El primer criterio se desarrolló a través de las palabras clave: ‘contaminación de peces’, ‘metales pesados’ y ‘peces’. El segundo criterio de filtro estuvo determinado por los conectores “AND” y “OR”, el restrictor de espacio ‘Colombia’ y la escala temporal de 1990-2019, rango determinado por la fecha del primer reporte encontrado en la literatura consultada para la revisión. Para este capítulo, y con el fin de registrar los datos en la base de datos, solo se seleccionaron los documentos que se encontraban en categoría de artículos científicos y que tenían datos de concentraciones de metales en peces.

Resultados y discusión

La base de datos generada en esta investigación contaba, en 2019, con registros de 98 artículos científicos que reportan estudios con concentraciones de metales en peces, matriz agua y sedimentos: para un total de 1225 registros. Se analizaron los registros por cuencas hidrográficas en Colombia, de acuerdo con reportes de impacto en ecosistemas y contaminación en productos de origen pesquero. En la figura 1 se observa la frecuencia de documentos científicos en los cuales se reporta presencia de metales en ictiofauna, matriz de agua y sedimento en todo el país. Se evidencia la presencia principalmente de mercurio (n=41), seguido por cadmio (n=27) y plomo (n=27). Los metales que se encuentran en menor proporción de reportes son el cromo (n=10) y el arsénico (n=12).

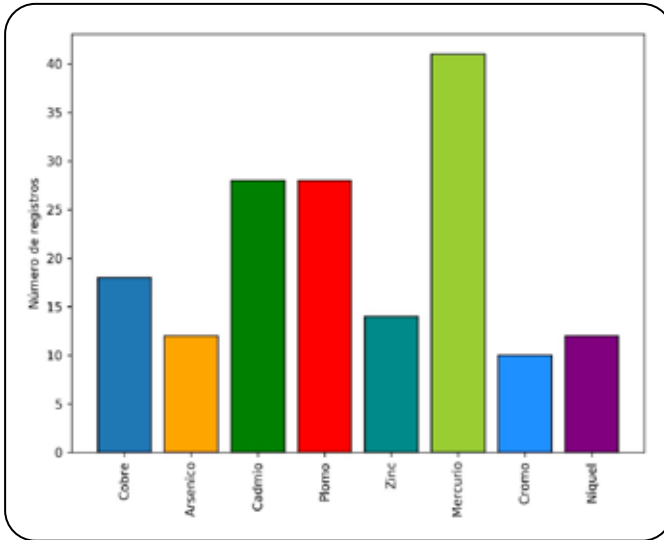


Figura 1
Número de documentos científicos que registran presencia de metales en Colombia 1990-2019

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar en escala temporal los estudios realizados, se puede evidenciar que desde 2002 se incrementa el número de registros sobre metales en el país ($n=21$). Asimismo, el interés por los estudios sobre la contaminación de medios acuáticos y fauna se incrementó. En el 2011 se registraron los mayores reportes de estudios con estas características, seguido por 2014 (figura 2).

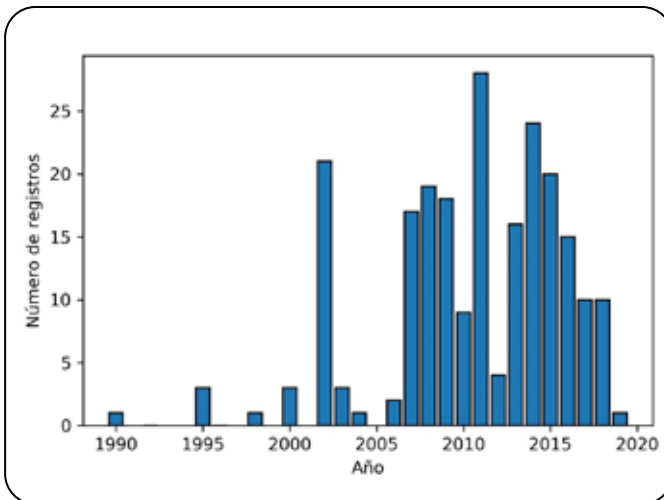


Figura 2
Registro de documentos científicos sobre presencia de metales en el período de 1990-2019

Fuente: Elaboración propia.

El análisis por cuencas demostró que el mercurio es el metal que más se reporta en la cuenca del Magdalena-Cauca (n=127), seguida por la cuenca del río Amazonas (n=51), la cuenca de la Sierra Nevada (n=19) y la cuenca del Catatumbo (n= 16). Las cuencas en las que menos se reporta mercurio son la del Pacífico (n=13), la del Orinoco (n=12) y la cuenca del Cauca (n=4) (figura 3). En Colombia, el interés por esta temática radica en que el mercurio es un contaminante ambiental ubicuo y peligroso (Guerrero *et al.*, 1995), cuya presencia se evidencia en ecosistemas acuáticos vitales para comunidades que habitan a lo largo y ancho del país, desde el interior hasta las costas Caribe y Pacífica y el Amazonas (Fuentes-Gandara, Pinedo-Hernández, Marrugo-Negrete *et al.*, 2018; Palacios-Torres *et al.*, 2018; Alcala-Orozco *et al.*, 2019). Estos ecosistemas constituyen la fuente de subsistencia y relevancia para la economía y el desarrollo de aquellos pueblos asentados a lo largo de las vías fluviales principales (Mancera-Rodríguez, y Álvarez-León, 2006; Carranza-Lopez, *et al.*, 2019), y de consumo en las ciudades (Arrieta *et al.*, 2015; Patiño Reyes, et al, 2006; López-Barrera y Barragán-Gonzalez., 2016; Fuentes-Gandara, Herrera-Herrera, *et al.*, 2018) (figura 3).

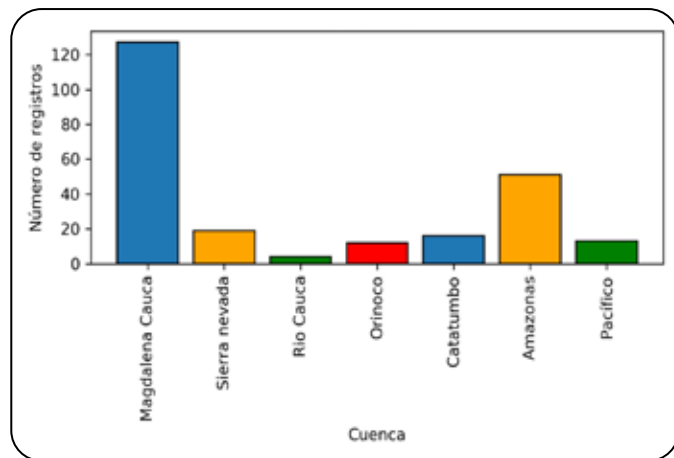


Figura 3
Registro de documentos científicos sobre presencia de mercurio en cuencas de Colombia 1990-2019

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca del río Magdalena ha sido la más estudiada. A partir de los estudios, se reportan para el país registros de metales en tejido muscular en 27 especies de peces, capturados en localidades de las cuencas alta, media y baja. En la tabla 2 se referencian los reportes de concentraciones de metales que sobrepasan las dispuestas en la Resolución 122 de 2012 del Ministerio

de Salud de Colombia (Hg= 0.5, Pb= 0.3 y Cd=0.05 µg/g). Se observa que la problemática de contaminación en peces de interés comercial y consumo se presenta en el interior del país y en la costa Caribe. Allí, se ha encontrado presencia de mercurio, metilmercurio, plomo y cadmio en músculos de peces que superan el límite máximo permitido por la normativa nacional.

Tabla 2

Resumen de concentraciones máximas y mínimas de metales pesados (µg/g, peso húmedo) en músculo de peces reportados en Colombia 1990-2019 que exceden el límite máximo permitido en pescado de consumo humano. Resolución 122 de 2012.

Metal reportado	Cuenca	Localidad	Especie	N	C	Concentración mínima (µg/g)	Concentración máxima (µg/g)	Referencia
Cadmio	Magdalena Cauca	Ciénaga grande de Santa Marta	<i>Ariopsis bonillai</i>	X		0.24	4.25	1
		Ciénaga de Mallorquín	<i>Lutjanus griseus</i>	X	X	0.05	0.15	2
			<i>Eugerres plumieri</i>	X	X	0.07	0.16	
		Ciénaga grande de Santa Marta	<i>Ariopsis bonillai</i>	X		0.7	11.3	3
Honda		<i>Pimelodus blochii</i>	X	X	0.060	0.084	4	
Mercurio		Ayapel (Córdoba)	<i>Plagioscion surinamensis</i>	X	X	0.507	1.071	5
		Cartagena	<i>Thunnus sp.</i>	X	X	0.59	1.01	6
		Hidroeléctrica de Urrá	<i>Hoplias malabaricus</i>	X	X	0.583	2.53	7
			<i>Caquetaia kraussii</i>	X		0.688	1.405	
		Ciénaga grande	<i>Caquetaia kraussii</i>	X		0.835	1.057	8
	<i>Ageneiosus caucanus</i>		X	X	0.92	1.236		
	<i>Hoplias malabaricus</i>		X	X	0.74	1.122	9	
	<i>Caquetaia kraussii</i>		X		0.92	1.26		
	<i>Hoplias malabaricus</i>	X	X	0.53	0.63			
	Metilmercurio	Puerto Seco	<i>Pimelodus grosskopfii</i>	X	X	3.810	12.55	10
Neiva		<i>Pimelodus grosskopfii</i>	X	X	3.56	12.72		
Yaguará		<i>Pimelodus grosskopfii</i>	X	X	2.124	5.157		
Puerto Seco		<i>Pimelodus grosskopfii</i>	X	X	3.429	11.295		
Neiva		<i>Pimelodus grosskopfii</i>	X	X	3.204	11.448		
Hobo		<i>Pimelodus grosskopfii</i>	X	X	3.699	15.543		
Barranquilla		<i>Sardina pilchardus</i>	X	X	0.067	1.473	2	

Metales pesados en nuestra mesa. Contaminación de peces de consumo humano en Colombia

Metal reportado	Cuenca	Localidad	Especie	N	C	Concentración mínima (µg/g)	Concentración máxima (µg/g)	Referencia
Plomo	Magdalena Cauca	Purificación	<i>Pimelodus blochii</i>	X	X	2.649	4.383	4
			<i>Prochilodus magdalenae</i>	X	X	0.328	2.546	
		Flandes	<i>Pimelodus blochii</i>	X	X	1.813	10.036	
			<i>Prochilodus magdalenae</i>	X	X	1.175	3.671	
		Ambalema	<i>Pimelodus blochii</i>	X	X	4.9	8.512	
			<i>Prochilodus magdalenae</i>	X	X	0.396	1.745	
Honda	<i>Pimelodus blochii</i>	X	X	3.097	5.467			
Mercurio	Amazonas	Río Caquetá	<i>Cichla ocellaris</i>	X		1.30	1.90	11
			<i>Hoplias malabaricus</i>	X	X	0.68	0.76	
			<i>Platynemateichthys notatus</i>	X	X	1.00	1.10	
			<i>Calophrys macropterus</i>	X	X	0.68	0.92	
		Río Amazonas	<i>Calophrys macropterus</i>	X	X	0.56	1.75	12
			<i>Brachyplatystoma platyneum</i>	X	X	0.51	2.01	
			<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	X	X	0.51	0.88	
			<i>Rhamdia sp.</i>	X	X	N.D.	0.55	
			<i>Mylossoma duriventre</i>	X	X	0.54	0.91	
			<i>Hoplias sp.</i>	X	X	N.D.	0.61	
	Atrato	Río Atrato	<i>Pseudopimelodus schultzi</i>	X	X	1.19	2.94	13
			<i>Cathorops melanopus</i>	X	X	0.24	0.96	
			<i>Rhamdia quelen</i>	X	X	0.1	1.75	
<i>Ageneiosus pardalis</i>			X	X	0.17	2.5		
<i>Caquetaia kraussii</i>			X	X	0.03	1.14		
<i>Pimelodus punctatus</i>			X	X	0.04	0.6		
<i>Prochilodus magdalenae</i>			X	X	0.02	0.75		
<i>Sternopygus aequilabiatus</i>			X	X	0.12	3.88		
	<i>Hoplias malabaricus</i>	X	X	0.09	1.96			
Plomo	Orinoco	Puerto López	<i>Pseudoplatystoma sp.</i>	X	X	3.6	8.2	14

Notas: N: Especie Nativa, C: Especie Consumo humano. 1. Campos, 1990; 2. Fuentes Gándara *et al.*, 2018; 3. Campos, 1992; 4. Noreña-Ramírez *et al.*, 2012; 5. Gracia, *et al.*, 2010; 6. Alcalá-Orozco *et al.*, 2017; 7. Marrugo-Negrete *et al.*, 2015; 8. Olivero *et al.*, 1998; 9. Marrugo-Negrete *et al.*, 2008; 10. Gómez *et al.*, 2015; 11. Olivero *et al.*, 2016; 12. Nuñez-Avellaneda *et al.*, 2014; 13. Palacios-Torres *et al.*, 2018; 14. González *et al.*, 2014. Elaboración propia.

Los registros que superan los límites máximos permitidos se localizan en los departamentos costeros de Magdalena, Bolívar, Sucre, Córdoba, Atlántico y Chocó, y en el interior, en los departamentos del Huila, Meta y Caquetá y en el Amazonas. Así mismo, se reportan concentraciones que pueden evidenciar procesos de bioacumulación de metales pesados por la exposición de peces de consumo humano en los ecosistemas acuáticos que se encuentran contaminados (tabla 2). La acumulación de metales en la cadena trófica de los humanos puede convertirse en un riesgo para la salud pública debido al proceso de biomagnificación, lo cual pone en peligro a comunidades vulnerables que encuentran en la ictiofauna su principal fuente de proteína animal.

Los departamentos de la zona norte de Colombia reportan una frecuencia de estudios elevada comparada con otros departamentos del país. Esta situación se debe a la cantidad de actividades mineras desarrolladas en esa región que contaminan los ecosistemas y afectan la salud pública (Oliveiro-Verbel *et al.*, 2011; Doria Mesquidaz *et al.*, 2013; Cordy *et al.*, 2013). En el departamento de la Guajira, se estudiaron los metales pesados Pb, Cd, Ni, Zn, Hg en tejidos de dos especies de peces marinos de alto consumo, el *Lutjanus synagris* y el *Lutjanus vivanus*, en los cuales se evidenció la presencia de estos metales en sus tejidos (Barros-Barrios *et al.*, 2016). En los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar, donde se concentran las actividades mineras del país, en los procesos mineros, se reportan pérdidas de oro fino y mercurio junto con metales asociados (Cr, Zn, Pb, As), los cuales se expulsan al ambiente sin ningún tipo de tratamiento, ya que no se realiza neutralización antes de verterlos (Alonso *et al.*, 2014).

En Córdoba, Idrovo *et al.* (2017) analizaron la exposición a arsénico en la comunidad indígena adyacente a la mina de Cerro Matoso (mina de ferrocromo a cielo abierto) y reportaron concentraciones en cabello; además de evidenciar un riesgo para la comunidad por ingesta de agua contaminada y peces. Sin embargo, esta problemática no se limita a esa zona del país, De Miguel *et al.* (2014) realizaron una modelación de riesgo por exposición a mercurio en diferentes departamentos del Caribe y Pacífico colombianos en los cuales se presenta actividad de minería de oro. Estos investigadores reportaron altos niveles de riesgo debido a la relación entre actividad laboral de minería, inhalación de aire con mercurio y consumo de pescado.

Los reportes de metales en el país comenzaron en los años noventa, especialmente aquellos enfocados en el análisis de mercurio en personas que laboraban en actividades mineras (Olivero *et al.*, 1995). Los estudios se han enfocado en determinar la concentración de mercurio en peces capturados en el Canal del Dique (Olivero *et al.*, 1997), y analizar procesos de bioacumulación en zonas mineras (Olivero y Solano, 1998) y en cuerpos de agua adyacentes a minas de oro (Olivero *et al.*, 1998). En el 2000, los estudios se ampliaron a determinar la presencia de mercurio en sedimentos y músculo de peces en la bahía de Cartagena y en la Ciénaga Grande de Santa Marta en diferentes niveles tróficos (Alonso *et al.*, 2000). En 2015, en el río Sinú, en Córdoba, se reportaron concentraciones de mercurio total en peces del embalse Urrá. Se analizó un histórico de seis años de monitoreo de calidad de agua (2004-2009) que evidencia condiciones para metilación de mercurio y su biomagnificación en la cadena alimenticia de los peces del embalse (Marrugo-Negrete, Navarro-Frómata *et al.*, 2015).

La región de la Mojana ha sido la más estudiada debido a la problemática entre la extracción minera de oro a pequeña escala y la dependencia del recurso hídrico y sus recursos biológicos. El estudio realizado por Olivero *et al.* (2002) en el Río San Jorge identificó concentraciones de mercurio en la población humana, asociando los resultados con la exposición por ingesta, debido a que la principal fuente de proteína en la región son los peces. De la misma manera, estudios han reportado mercurio en peces (Marrugo *et al.*, 2007) y humanos en la Ciénaga de Ayapel (Gracia *et al.*, 2010), metilmercurio en peces de la región de la Mojana (Marrugo-Negrete, Olivero Verbel *et al.*, 2008) y concentraciones altas de mercurio en diferentes compartimientos (sedimento, agua, biológico) del ecosistema lagunar (Marrugo-Negrete, Benitez *et al.*, 2008). En 2010, Marrugo-Negrete *et al.* realizaron la modelación de distribución espacial y temporal de mercurio en la ciénaga de Ayapel y evidenciaron la magnitud de contaminación que la región de la Mojana presenta a causa de este metal. Otro estudio reporta metales pesados en los ríos Sinú y San Jorge y su bioconcentración en bovinos (Madero y Marrugo, 2011).

Con el paso de los años, la preocupación por el riesgo ecológico y de salud pública en la región de la Mojana ha continuado, por lo que se han realizado estudios de efectos genotóxicos de metales pesados en la población

(Calao y Marrugo, 2015) y análisis de metilmercurio y mercurio en diferentes compartimientos del ecosistema y sobre la biodisponibilidad de estos en sedimentos (Pinedo-Hernández *et al.*, 2015). Además, en la ciénaga Grande y en la de Ayapel, se analizó la geoquímica del mercurio en sedimentos, y se reportó un incremento de los procesos de metilación de mercurio en la estación seca y altas concentraciones de mercurio total en épocas de lluvia. Estos registros están relacionados con actividades mineras cuenca arriba, lo cual acarrea y evidencia un riesgo potencial para la biota y los humanos (Marrugo-Negrete, Pinedo-Hernández *et al.*, 2015).

En el departamento de Bolívar se ha incrementado la preocupación no solo por la presencia de metales, sino por los problemas de salud pública que estos pueden ocasionar. En respuesta, se han comenzado a estudiar los niveles de plomo en niños en la ciudad de Cartagena (Olivero-Verbel *et al.*, 2007); evaluar la relación de parámetros fisicoquímicos y la toxicidad de los lixiviados derivados de la disposición de residuos sólidos (Olivero-Verbel *et al.*, 2008), y determinar la presencia de mercurio en peces de la bahía de Cartagena (Olivero-Verbel *et al.*, 2009). En 2014, Espitia reportó metales pesados en sedimentos superficiales en cuerpos de agua del Canal del Dique, específicamente para las poblaciones de Gambote y Soplaviento.

El estudio de mercurio en el departamento de Bolívar se extendió en 2015 hacia el sur al distrito minero de San Martín de la Loba (Olivero-Verbel *et al.*, 2015). Ese análisis permitió evidenciar contaminación por mercurio (índice de geoacumulación >6) en peces de consumo, agua, macrófitas flotantes y sedimentos de los efluentes cercanos a los sitios mineros. En 2019, la preocupación por los impactos toxicológicos de la actividad minera ha llevado a evaluar la contaminación por mercurio en diferentes matrices (cabello, peces y suelo) en los principales distritos de minería de oro en el departamento de Bolívar (Montecristo, Achí, La Raya Village, Norosí, Santa Rosa del Sur, Arenal y Morales) (Carranza-Lopez *et al.*, 2019).

Tanto en el Pacífico colombiano como en el Caribe, se han realizado estudios para determinar la presencia de mercurio en cuerpos de agua, asociada con actividades mineras y que presentan un riesgo para las comunidades vulnerables. En el departamento del Chocó, también se han reportado concentraciones de mercurio en una mina de oro, en cabello humano, peces, sedimentos y aire. Los resultados de este estudio demostraron

que la concentración de mercurio en peces de consumo sobrepasa el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud y que el consumo de este alimento ocurre con una alta frecuencia, lo cual implica un riesgo alto para la salud humana (Palacios *et al.*, 2018).

En el Caribe, para el departamento del Atlántico, se han realizado estudios de metales pesados (Hg, Cd, Cu, Pb, Cr, Ni y Zn) en peces de la ciénaga de Mallorquín. Aunque se han reportado concentraciones por debajo de los límites permitidos a nivel nacional, se resalta la presencia en todos los individuos de metales que pueden generar un riesgo para la salud (Fuentes Gandara, Pinedo Hernández y Marrugo Negrete, 2018). Asimismo, la preocupación por el alto consumo de pescado en la población ribereña de la ciénaga de Mallorquín permitió que se evaluara el riesgo de los siete metales evaluados en el estudio anterior. Los resultados permitieron evidenciar concentraciones de Pb y Hg ($<0.2 \mu\text{g/g}$) no elevadas (Fuentes-Gandara *et al.*, 2018b). Sin embargo, los autores alertaron sobre posibles efectos en la salud de los grupos vulnerables debido a la alta ingesta diaria de pescado, lo cual podría generar nefrotoxicidad y efectos en el neurodesarrollo por la exposición crónica a plomo y metilmercurio.

El consumo de pescado contaminado con mercurio a nivel nacional se extiende a los productos importados y comercializados en el país. En la ciudad de Barranquilla, se evaluó la concentración de metilmercurio (MeHg) en bocachico argentino (*Prochilodus lineatus*), bocachico venezolano (*Prochilodus reticulatus*), filete de basa (*Pangasianodon hypophthalmus*) de Vietnam y en cuatro marcas diferentes de atún enlatado proveniente de China, Ecuador y Colombia y una marca de sardinas en conserva, de Ecuador. Se reportaron altas concentraciones de MeHg en atún enlatado, las cuales acarrearán un alto riesgo por consumo. Por consiguiente, los autores apuntaron la necesidad de incrementar medidas regulatorias y proporcionar educación pública sobre los riesgos de MeHg en poblaciones como niños y mujeres embarazadas (Fuentes-Gandara, Herrera-Herrera *et al.*, 2018).

La cuenca del Amazonas también ha despertado interés debido al incremento, desde el 2014, de reportes que evidencian un decrecimiento en la calidad de los ecosistemas de esta región provocado por las actividades ilegales que incorporan principalmente mercurio en ecosistemas acuáticos (Córdoba, 2014). Adicionalmente, la comercialización en el interior del país

de especies de consumo, como el pez mota (*Calophrysus macropterus*) –que presenta concentraciones elevadas de mercurio (1.33-2.28 µg/g)–, despierta la preocupación por la evaluación de biomagnificación y el riesgo en el que incurre esta zona de Colombia (Salinas *et al.*, 2014).

En 2015, se realizó el análisis de mercurio total en muestras de agua, sedimentos y especies de peces de diferentes niveles tróficos en cuatro lugares de la Amazonía colombiana. El estudio puso de manifiesto que las concentraciones en peces carnívoros sobrepasan los límites máximos permitidos (0.5 mg/kg) y alertó sobre la necesidad de un monitoreo de las especies de interés comercial, con el fin de identificar fuentes de exposición para la contaminación de mercurio (Núñez-Avellaneda *et al.*, 2014). Adicionalmente, se reporta la biomagnificación de mercurio total (Hg) en las especies de delfines del género *Inia* en los ríos Amazonas y Orinoco. Estos reportes demuestran el riesgo de exposición de las redes tróficas acuáticas de estas regiones del país (Guerra *et al.*, 2015).

Posteriormente, en 2016, se evaluó el riesgo humano por exposición a mercurio en el río Amazonas para comunidades indígenas (Olivero-Verbel *et al.*, 2016); a partir de lo cual, se registró un riesgo elevado por ingesta de peces carnívoros de consumo por las comunidades, lo cual puede desembocar en un problema de salud pública. Del mismo modo, en 2019, se realizó un análisis en el cabello de pobladores de comunidades indígenas de los ríos Cotuhé y Putumayo, y se encontró que el mercurio excedió el nivel máximo de 1.0 µg/g recomendado por la OMS. Estos niveles de concentración se asociaron significativamente con el consumo de pescado por cuanto se observaron síntomas de envenenamiento en algunos pobladores. La toxicidad de este alimento estaría disminuyendo la calidad de vida de los grupos indígenas de la región (Alcala-Orozco *et al.*, 2019).

Por otra parte, se reportaron efectos tóxicos de exposición a metales pesados en moluscos de Sucre, Bolívar y La Guajira (Valdelamar-Villegas y Olivero-Verbel, 2018) y en comunidades de hongos de manglares en el departamento de Córdoba (Cadavid-Velásquez *et al.*, 2019). Adicionalmente, se reportó que la presencia de estos metales en el ambiente ocasiona problemas médicos relacionados con el desarrollo, neurotoxicidad, fertilidad, audición, comunicación, masticación, deglución y equilibrio, así como raquitismo en los peces presentes y, en algunos casos, la extinción de especies

que conformaban la dieta alimenticia de los pobladores locales (Guerrero *et al.*, 1995; Olivero *et al.*, 2011; Doria Mesquidaz *et al.*, 2013).

La posibilidad de enfermedades derivadas del consumo de alimentos contaminados con metales pesados, y los reportes que demuestran la presencia de estos en especies de peces de consumo, se convierten en un peligro inminente. Ante ello, se han aunado esfuerzos por analizar el riesgo por ingesta de mercurio y metilmercurio en la población colombiana. En su estudio, Vargas Licon y Marrugo Negrete (2019) expusieron la necesidad de conducir investigaciones que evalúen el riesgo para la salud de los pobladores de zonas mineras y no mineras de Colombia, debido a la relación directa entre actividades que usan metales pesados (agricultura y minería) y el incremento del riesgo por la dependencia de consumo de este alimento.

Conclusiones

A pesar de tener un significativo número de reportes científicos en Colombia (n=98) que evidencian la problemática de metales pesados en peces de consumo en ecosistemas y en humanos, no se puede concluir una tendencia de aumento en las concentraciones de metales pesados en el país. No se ha realizado, para la nación, un monitoreo espacial y temporal continuo que permita realizar análisis estadísticos. Este panorama demuestra que la magnitud del problema es preocupante y que se requiere implementar un programa de monitoreo en cuencas que, por un lado, permita evaluar históricamente la presencia de metales en los ecosistemas y, por otro, realizar un seguimiento adecuado a las políticas públicas –como la política de Cero Mercurio, la cual indicaba que, al 2018, el mercurio ya no se debería estar usando en ninguna actividad extractiva–.

En escala espacial, también es necesario sincronizar acciones entre los diferentes actores gubernamentales y autoridades ambientales para el diseño e implementación de herramientas de monitoreo y seguimiento que permitan, a partir de los reportes generados, diseñar programas de intervención sobre las cuencas más afectadas, desde la parte alta hasta las costas, y el mar. Se deben incluir, también, en el diseño de políticas no solo la biota, sino a las comunidades ubicadas en primera fila de consumo de pescado de los afluentes afectados, a fin de que no se parcialice territorialmente una contaminación que no atiende límites administrativos.

Referencias

- Alava, J. J., Cheung, W. W., Ross, P. S., y Sumaila, U. R. (2017). Climate change–contaminant interactions in marine food webs: Toward a conceptual framework. *Global Change Biology*, 23(10), 3984–4001. <https://doi.org/10.1111/gcb.13667>
- Alcala-Orozco, M., Caballero-Gallardo, K., y Olivero-Verbel, J. (2019). Mercury exposure assessment in indigenous communities from Tarapaca village, Coutuhe and Putumayo Rivers, Colombian Amazon. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(36), 36458–36467. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06620-x>
- Alcala-Orozco, M., Morillo-Garcia, Y., Caballero-Gallardo, K., y Olivero-Verbel, J. (2017). Mercury in canned tuna marketed in Cartagena, Colombia, and estimation of human exposure. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 10(4), 241–247. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1323803>
- Alonso, D. L., Latorre, S., Castillo, E. y Brandão, P. F. (2014). Environmental occurrence of arsenic in Colombia: A review. *Environmental pollution*, 186, 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.12.009>
- Alonso, D., Pineda, P., Olivero, J., González, H. y Campos, N. (2000). Mercury levels in muscle of two fish species and sediments from the Cartagena Bay and the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Environmental Pollution*, 109(1), 157–163. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00225-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00225-0)
- Arias Almeida, J. C., y Ramírez, J. J. (2009). Caracterización preliminar de los sedimentos de un embalse tropical: represa La Fe (El Retiro, Antioquia, Colombia). *Limnetica*, 28(1), 065–78.
- Arrieta, A., Corredor, W., y Vera, J. (2015). Valoración y cuantificación de metales pesados en carne de cerdo, pescado, pollo y res comercializados en Pamplona Norte de Santander. *@Limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(2), 163–171. <https://doi.org/10.24054/16927125.v2.n2.2015.1898>
- Barros-Barrios, O., Doria-Argumedo, C., y Marrugo-Negrete, J. (2016). Metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn, Hg) en tejidos de *Lutjanus synagris* y *Lutjanus vivanus* de la Costa de La Guajira, Norte de Colombia. *Veterinaria y Zootecnia*, 10(2): 27–41. <https://doi.org/10.17151/vetzo, 2>
- Booth, S., y Zeller, D. (2005). Mercury, food webs, and marine mammals: implications of diet and climate change for human health. *Environmental Health Perspectives*, 113(5), 521–526. <https://doi.org/10.1289/ehp.7603>
- Burgos-Núñez, S., Navarro-Frómata, A., Marrugo-Negrete, J., Enamorado-Montes, G., y Urango-Cárdenas, I. (2017). Polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in the Cispata Bay, Colombia: A marine tropical ecosystem. *Marine pollution bulletin*, 120(1-2), 379–386.

- Cabral, H., Fonseca, V., Sousa, T., y Costa Leal, M. (2019). Synergistic effects of climate change and marine pollution: An overlooked interaction in coastal and estuarine areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(15), 2737. <https://doi.org/10.3390/ijerph16152737>
- Cadavid-Velásquez, E., Pérez-Vásquez, N., y Marrugo-Negrete, J. (2019). Metales pesados en macromicetos del manglar de la bahía Cispatá, Córdoba, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1082>
- Calao, C. R., y Marrugo, J. L. (2015). Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomédica*, 35(2), 139-151. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2392>
- Campos, N. H. (1990). La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Caldasia*, 16(77), 231-243.
- Campos, N. H. (1992). Concentraciones de metales traza en *Ariopsis bonillai* (Pisces: Siluriformes) de Santa Marta, Caribe colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 40(2), 179-183.
- Cardona, A. F. R., Molina, M. T. F., y Baena, J. P. (2013). Variación espacial y temporal en los contenidos de mercurio, plomo, cromo y materia orgánica en sedimento del complejo de humedales de Ayapel, Córdoba, noroccidente colombiano. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (69), 244-255.
- Carranza-López, L., Caballero-Gallardo, K., Cervantes-Ceballos, L., Turizo-Tapia, A., y Olivero-Verbel, J. (2019). Multicompartment mercury contamination in major gold mining districts at the department of Bolívar, Colombia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 76(4), 640-649. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00609-w>
- Cordy, P., Veiga, M., Crawford, B., Garcia, O., Gonzalez, V., Moraga, D., Roeser, M., y Wip, D. (2013). Characterization, mapping, and mitigation of mercury vapour emissions from artisanal mining gold shops. *Environmental Research*, 125, 82-91. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2012.10.015>
- De Miguel, E., Clavijo, D., Ortega, M. F., y Gómez, A. (2014). Probabilistic meta-analysis of risk from the exposure to Hg in artisanal gold mining communities in Colombia. *Chemosphere*, 108, 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.035>
- Departamento Nacional de Planeación. (2005). *Política nacional de sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos para el sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias*. CONPES 3375. https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/conpes/2005/Conpes_3375_2005.pdf

- Doria Mesquidaz, E., Marrugo Negrete, J., y Pinedo Hernández, J. (2013). Exposición a mercurio en trabajadores de una mina de oro en el norte de Colombia. *Revista Científica Salud Uninorte*, 29(3), 534-541.
- Espitia, N. (2014). Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales en cuerpos de agua del canal del dique en las poblaciones de Gambote y Soplaviento (Bolívar). *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 17(34), 91-100. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v17i34.11389>
- Estupiñán, E. J. V., y Africano, P. E. R. (2015). Presencia de mercurio, plomo y cobre en tejidos de *Oreochromis niloticus*: sector de la cuenca alta del Río Chicamocha, vereda Volcán, Paipa, Colombia. *Producción+ Limpia*, 10(2), 114-126.
- Fuentes Gandara, F., Pinedo Hernández, J., y Marrugo Negrete, J. (2018). Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de Mallorquín, Colombia. *Revista Espacios*, 39(3), 19-31.
- Fuentes-Gandara, F., Herrera-Herrera, C., Pinedo-Hernández, J., Marrugo-Negrete, J., y Díez, S. (2018). Assessment of human health risk associated with methylmercury in the imported fish marketed in the Caribbean. *Environmental Research*, 165, 324-329. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.05.001>
- Fuentes-Gandara, F., Pinedo-Hernández, J., Marrugo-Negrete, J., y Díez, S. (2018). Human health impacts of exposure to metals through extreme consumption of fish from the Colombian Caribbean Sea. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(1), 229-242. <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9896-z>
- García-Gómez, A. G., Parejo Pérez, A. X., Vela Bonilla, L. M., y Coronado Cuenca, L. V. (2015). Presencia de mercurio en la especie *Pimelodus grosskopfii* “Capaz” en el departamento del Huila. *Ingeniería y Región*, (13), 47-56.
- González, J., Landines, M. A., Borbón, J., Correal, M. L., Sánchez, C., y Rodríguez, L. (2014). Evaluación de algunos marcadores de exposición a contaminantes en tres especies de bagres colombianos (Pisces: Siluriformes). *Biota Colombiana*, 15(1), 40-51.
- Gracia, L., Marrugo, J. L., y Alvis, E. M. (2010). Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 28(2), 118-124. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/fnsp/article/view/1753>
- Guerra, F. M., Trujillo, F., Herrera, D. C., y Callejas, S. M. (2015). Indicios de biomagnificación de Mercurio total (Hg) en las especies del género *Inia* (Cetartiodactyla: Iniidae) en los ríos Amazonas y Orinoco (Colombia). *Momentos de Ciencia*, 12(2).

- Guerrero, E., Restrepo, M., y Podlesky, E. (1995). Mercurio: un contaminante ambiental ubicuo y peligroso para la salud humana. *Biomédica*, 15(3), 144-154. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v15i3.873>
- Idrovo, A. J., Rivero-Rubio, C., y Amaya-Castellanos, C. (2017). Perception of pollution and arsenic in hair of indigenous living near a ferronickel open-pit mine (Córdoba, Colombia): Public health case report. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 49(1), 115-123. <http://dx.doi.org/10.18273/revsal.v49n1-2017011>
- López-Barrera, E. A., y Barragán-Gonzalez, R. G. (2016). Metals and metalloid in eight fish species consumed by citizens of Bogotá DC, Colombia, and potential risk to humans. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 79(5), 232-243. <https://doi.org/10.1080/15287394.2016.1149130>
- Madero, A., y Marrugo, J. (2011). Detección de metales pesados en bovinos, en los valles de los ríos Sinú y San Jorge, departamento de Córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 16(1), 2391-2401. <https://doi.org/10.21897/rmvz.298>
- Mancera-Rodríguez, N. J., y Álvarez-León, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23.
- Marrugo, J., Lans, E., y Benítez, L. (2007). Hallazgo de mercurio en peces de la Ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 12(1), 878-886. <https://doi.org/10.21897/rmvz.432>
- Marrugo-Negrete, J., Benítez, L. N., y Olivero-Verbel, J. (2008). Distribution of mercury in several environmental compartments in an aquatic ecosystem impacted by gold mining in northern Colombia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 55(2), 305-316. <https://doi.org/10.1007/s00244-007-9129-7>
- Marrugo-Negrete, J., Benítez, L. N., Olivero-Verbel, J., Lans, E., y Vasquez Gutierrez, F. (2010). Spatial and seasonal mercury distribution in the Ayapel marsh, Mojana region, Colombia. *International Journal of Environmental Health Research*, 20(6), 451-459. <https://doi.org/10.1080/09603123.2010.499451>
- Marrugo-Negrete, J., Navarro-Frómata, A., y Ruiz-Guzmán, J. (2015). Total mercury concentrations in fish from Urrá reservoir (Sinú river, Colombia). Six years of monitoring. *Revista MVZ Córdoba*, 20(3), 4754-4765. <https://doi.org/10.21897/rmvz.45>
- Marrugo-Negrete, J., Olivero Verbel, J., Lans Ceballos, E., y Benítez, L. N. (2008). Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia. *Environmental Geochemistry and Health*, 30(1), 21-30. <https://doi.org/10.1007/s10653-007-9104-2>

- Marrugo-Negrete, J., Pinedo-Hernández, J. y Díez, S. (2015). Geochemistry of mercury in tropical swamps impacted by gold mining. *Chemosphere*, 134, 44-51.
- Martínez, Z., y González, M. (2017). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Colombia. *Temas Agrarios*, 21-31.
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C. A., Jerez, C. M., Fischer, G., y Zurita, J. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 180-191.
- Noreña-Ramírez, D. A., Murillo-Perea, E., Guio-Duque, J. A., y Méndez Arteaga, J. J. (2012). Metales pesados (Cd, Pb y Ni) en especies de peces de importancia comercial del río Magdalena, tramo Tolima, Colombia. *Revista Tumbaga*, 2(7), 61-77.
- Nuñez-Avellaneda M., Agudelo Córdoba E., y Gil-Manrique B. D. (2014). Un análisis descriptivo de la presencia de mercurio en agua, sedimento y peces de interés socioeconómico en la Amazonia Colombiana. *Revista Colombia Amazónica* (7), 149-159.
- Olivero, J., y Solano, B. (1998). Mercury in environmental samples from a waterbody contaminated by gold mining in Colombia, South America. *Science of The Total Environment*, 217(1-2), 83-89. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(98\)00175-2](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(98)00175-2).
- Olivero, J., Johnson, B., y Arguello, E. (2002). Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America). *Science of The Total Environment*, 289(1-3), 41-47. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)01018-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)01018-X)
- Olivero, J., Mendonza, C., y Mestre, J. (1995). Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia. *Revista de Saúde Pública*, 29(5), 376-379. <https://doi.org/10.1590/S0034-89101995000500006>
- Olivero, J., Navas, V., Perez, A., Solano, B., Acosta, I., Arguello, E., y Salas, R. (1997). Mercury levels in muscle of some fish species from the Dique Channel, Colombia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 58(6), 865-870. <https://doi.org/10.1007/s001289900414>
- Olivero, J., Solano, B., y Acosta, I. (1998). Total mercury in muscle of fish from two marshes in goldfields, Colombia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61(2), 182-187. <https://doi.org/10.1007/s001289900746>
- Olivero-Verbel, J., Agudelo-Frias, D., y 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(1-2), 105-109.

- Olivero-Verbel, J., Caballero-Gallardo, K., y Marrugo Negrete, J. (2011). Relationship between localization of gold mining areas and hair mercury levels in people from Bolivar, north of Colombia. *Biological Trace Element Research*, 144(1-3), 118-132. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9046-5>
- Olivero-Verbel, J., Caballero-Gallardo, K., y Torres-Fuentes, N. (2009). Assessment of mercury in muscle of fish from Cartagena Bay, a tropical estuary at the north of Colombia. *International Journal of Environmental Health Research*, 19(5), 343-355. <https://doi.org/10.1080/09603120902749090>
- Olivero-Verbel, J., Caballero-Gallardo, K., y Turizo-Tapia, A. (2015). Mercury in the gold mining district of San Martín de Loba, south of Bolívar (Colombia). *Environmental Science and Pollution Research*, 22(8), 5895-5907. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3724-8>
- Olivero-Verbel, J., Carranza-Lopez, L., Caballero-Gallardo, K., Ripoll-Arboleda, A., y Muñoz-Sosa, D. (2016). Human exposure and risk assessment associated with mercury pollution in the Caqueta River, Colombian Amazon. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(20), 20761-20771. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7255-3>
- Olivero-Verbel, J., Duarte, D., Echenique, M., Guette, J., Johnson-Restrepo, B., y Parsons, P. J. (2007). Blood lead levels in children aged 5–9 years living in Cartagena, Colombia. *Science of The Total Environment*, 372(2-3), 707-716. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.10.025>
- Olivero-Verbel, J., Padilla-Bottet, C., y De la Rosa, O. (2008). Relationships between physicochemical parameters and the toxicity of leachates from a municipal solid waste landfill. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70(2), 294-299. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.05.016>
- Ortega, M. (2014). Niveles de plomo y mercurio en muestras de carne de pescado importado y local. *Pediatría*, 47(3), 51-54.
- Ortiz-Romero, L., Delgado-Tascón, J., Pardo, D., Murillo, E., y Duque, A. (2015). Determinación de Metales Pesados e Índices De Calidad En Aguas Y Sedimentos Del Río Magdalena-Tramo Tolima, Colombia. *Revista Tumbaga*, 2(10).
- Palacios-Torres, Y., Caballero-Gallardo, K., y Olivero-Verbel, J. (2018). Mercury pollution by gold mining in a global biodiversity hotspot, the Choco biogeographic region, Colombia. *Chemosphere*, 193, 421-430. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.160>
- Patiño Reyes, N., Duarte Portocarrero, E., Matallana Muñoz, D. M., Martínez Cediel, A. E., y Medina Martínez, A. R. (2006). Determinación de mercurio en

- pescado fresco de mayor consumo en Bogotá marzo-abril 2003. *Investigaciones en Seguridad Social y Salud*, 8(8), 137-151.
- Pinedo-Hernández, J., Marrugo-Negrete, J., y Díez, S. (2015). Speciation and bioavailability of mercury in sediments impacted by gold mining in Colombia. *Chemosphere*, 119, 1289-1295. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.09.044>
- Pulido, J. D. M., González, J. M. T., y Mora, M. A. T. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta. *Orinoquia*, 19(1), 118-122.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., y Jiménez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 16(2), 66-77.
- Salinas, C, Cubillos, J. C., Gómez, R., Trujillo, F., y Caballero, S. (2014). “Pig in a poke (gato por liebre)”: The “mota” (*Calophysus macropterus*). Fishery, molecular evidence of commercialization in Colombia and toxicological analyses. *Eco-Health*, 11, 197-206. <https://doi.org/10.1007/s10393-013-0893-8>
- Schartup, A. T., Thackray, C. P., Qureshi, A., Dassuncao, C., Gillespie, K., Hanke, A., y Sunderland, E. M. (2019). Climate change and overfishing increase neurotoxicant in marine predators. *Nature*, 572(7771), 648-650. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1468-9>
- Schiedek, D., Sundelin, B., Readman, J. W., y Macdonald, R. W. (2007). Interactions between climate change and contaminants. *Marine Pollution Bulletin*, 54(12), 1845-1856. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.09.020>
- Urrutia, G., y Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina clínica*, 135(11), 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Valdelamar-Villegas, J., y Olivero-Verbel, J. (2018). Bioecological Aspects and Heavy Metal Contamination of the Mollusk *Donax denticulatus* in the Colombian Caribbean Coastline. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100(2), 234-239. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2203-6>
- Vargas Licon, S. P., y Marrugo Negrete, J. L. (2019). Mercurio, metilmercurio y otros metales pesados en peces de Colombia: riesgo por ingesta. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 232-242. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.74128>