

CAPÍTULO II

METALES TÓXICOS EN COLOMBIA: PRESENCIA, ORIGEN, DISTRIBUCIÓN Y CONTAMINACIÓN EN COMPONENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS

Fernanda Sánchez¹ Sharon Corredor²

Resumen

La literatura nacional e internacional que habla sobre la presencia de metales tóxicos tales como mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd) en Colombia revela la magnitud de la problemática que se presenta en el país. En este capítulo, se resume la literatura de la ocurrencia de estos metales tóxicos, en diferentes matrices como el suelo, sedimentos, agua, las redes tróficas y en personas. Algunas de las concentraciones de estos metales tóxicos exceden los límites establecidos en las normas nacionales e internacionales. Las mayores concentraciones de Hg, Pb, As, y Cd están asociados con las regiones mineras del país, por ejemplo; los suelos presentan valores hasta 12,0 mg/kg de As; en sedimentos hasta de 1.850 µg/g de As; en aire hasta 1.000.000 ng/mg de Hg; sedimentos hasta 240 µg/g de Cd y 330 µg/g de Pb, y en las zonas agrícolas, por ejemplo, se presentan valores, en el agua de riego, hasta 3,0 g/l de As, y en el tejido vegetal hasta, 0,19 mg/kg de As, lo cual pone en relieve los riesgos ambientales y sociales asociados con la presencia de estos metales tóxicos en el país. Esta revisión destaca la importancia de centrar la investigación en resaltar la importancia de la presencia, origen y distribución de Hg, Pb, As y Cd en Colombia para comprender mejor su impacto en la salud pública y ambiental.

Palabras claves: Metales tóxicos, Colombia, salud pública y ambiental.

Abstract

The international and national literature on the presence of toxic metals mercury (Hg), lead (Pb), arsenic (As) and cadmium in Colombia, does disclose the true magnitude of the presence of Hg, Pb, As y Cd in Colombia. In this paper, we summarize the literature on toxic metals, occurrence in Colombia. The data reveal that toxic metals are present in matrices such as soil, sediments and water, in the food chain and in people. Some of the Hg, Pb, and As y Cd concentrations exceed the limits specified by national and international regulations. Hg, Pb, As y Cd higher concentrations are associated with mining regions (e.g., soils, up to 148 mg/kg of As; sediments, up to 1400 mg/kg of As; air, 1.000.000 ng/mg of Hg; sediments up to 240ug/g of Cd and 330 ug/g of Pb) and agricultural areas (e.g., solid, up to 5.40 mg/kg of As; irrigation water, up to 255 µg/L; solid, up to 12.0 mg/kg of Cd; vegetables, up to 0.14 mg/kg of Hg and Pb), and underscore the potential human and environmental risks associated with the presence of As in the country. This review highlights the importance of focusing research on understanding the occurrence, origin and distribution of Hg, Pb, As and Cd in Colombia to better understand its environmental and public health impact.

Keys words: Toxic metals, Colombia, environmental and public health.

1. INTRODUCCIÓN

Los metales tóxicos Hg, Pb, As y Cd están ampliamente distribuidos en la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Como factores ambientales se asocian a dos principales tipos de fuentes: a) procesos naturales como la erosión, la actividad biológica y las emisiones volcánicas, b) las actividades humanas como la minería, procesos industriales, fundición de metales, producción de pesticidas, y el uso de combustibles fósiles (Alonso, Latorre, Catillo, & Brandao, 2014).

La ingestión y/o inhalación de metales tóxicos como Hg, Pb, Cd y As pueden causar varios problemas de salud como diabetes, lesiones en la piel, trastornos gastrointestinales, efectos genéticos, y sus efectos cancerígenos especialmente (International Agency for Research on Cancer (IARC), 2010). En general, la exposición al riesgo potencial de la contaminación radica en las poblaciones que tienen una relación directa con estos metales tóxicos.

En Colombia se han realizado varios estudios frente a la problemática de contaminación por metales tóxicos en diferentes contextos ecosistémicos y sociales. Para el presente capítulo se revisaron los documentos disponibles en bases de datos virtuales para lo cual se utilizaron diferentes recursos incluyendo motores de búsqueda y herramienta especializados como minería de datos basados principalmente en ScienceDirect y Scopus, referencias cruzadas a partir de los documentos hallados, además de tener en cuenta la orientación de profesionales y científicos que han trabajado sobre el tema. Se incluyó la información disponible en artículos, libros, trabajos de grado, artículos en periódicos y revistas de divulgación después de ser curada y organizada. A continuación se evidencia la contaminación por metales tóxicos a nivel de cuencas hidrográficas de Colombia.

2. CUENCA DEL ATLÁNTICO

2.1. EVIDENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN EN EL MEDIO AMBIENTE

En la cuenca del río Magdalena, principal arteria fluvial del país, se reportó que la calidad del agua ha sido severamente afectada por los metales pesados procedentes de diferentes actividades antropogénicas, su concentración alcanza niveles preocupantes y se debe a varios factores entre ellos la descarga indebida de los desechos de múltiples actividades industriales que por procesos de lixiviación o de drenaje son arrastrados hasta el río a lo largo de su cuenca. El trabajo realizado por Duque y colaboradores resalta el efecto de uno de los principales focos de contaminación en la cuenca: la desembocadura del río Bogotá, cuyas concentraciones de metales pesados están por encima de los niveles máximos permitidos y generan alteraciones físico-químicas en el ecosistema acuático y llega a afectar la dinámica de las poblaciones que habitan en él (Periodico el Nuevo Día , 2012).

En los departamentos del Magdalena se realizaron estudios en los sistemas fluviales, como resultados se han detectado concentraciones de Hg total ($\leq 2,763$ ug/l) en época seca; (0,384–9,034 ug/l) en época lluviosa, Hg disuelto ($\leq 1,180$ ug/l), Hg disuelto/Hg total (70% $< 0,3$ μ g/l), Hg/sólidos suspendidos con correlaciones altas (0,97) igual que para Hg/turbidez (0,77–0,91). En los sedimentos se ha comprobado un rango de (186–476 ug/kg), y un aumento de la concentración en época lluviosa y la disminución de la concentración a medida que se aumenta la distancia de las áreas de alta concentración (Álvarez León, 2006).

En el departamento de Bolívar, en la ciudad de Cartagena, en los vertederos utilizados para la disposición de los residuos sólidos de la ciudad se identificaron, diversos valores de concentraciones de contaminantes incorporados en los lixiviados siendo el promedio de estos: Cd (0,1234 mg/l), Ni (0,2151 mg/l), Hg ($< 0,015$ mg/l) , Mn (0,0615 mg/l), Cu ($< 0,025$ mg/l), y Pb ($< 0,10$ mg/l), además de esto también se registró toxicidad frente a (*Artemia franciscana*-Buchón) con concentraciones letales medias (CL50) a las 24 y 48 h de exposición (Olivero-Verbel, Padilla-Bottet, & De la Rosa, 2008).

En el departamento de Bolívar, en la ciudad de Cartagena, en la Bahía de Barbacoas, se analizaron e identificaron concentraciones totales de As, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn y Pb, las mayores concentraciones promedio fueron de 2,0 mg/l correspondientes a Pb, Ti, Fe, en aguas de estuarios y sistemas de cultivo de camarones (Mazo-Gray, Sbriz, & Alvarez, 1997).

En el departamento de Antioquia en los municipios de Segovia, Remedios, Zaragoza, El Bagre y Nechí, caracterizados por ser municipios mineros de oro artesanal, se identificó que el Hg consumido y perdido en estos municipios es de alrededor de 93 Tn/a. Se

identificó con base al balance de masa de Hg realizado en 15 centros de procesamiento, 50% del Hg utilizado en pequeños molinos de bolas se vierte: el 46% en los relaves y efluentes, y el 4% cuando se quema la amalgama. Los niveles de Hg del aire urbano van de 300 ng/m³ a 1.000.000 ng/m³ y en las zonas residenciales de 10.000 ng/m³. Sobrepasando el límite de la OMS de 1000 ng/m³ para la exposición pública¹ (Paul, Veiga, Salih, Al-Saadi, & Console, 2011).

En el departamento de Caldas en el municipio de Marmato, en las minas de oro, se identificó que los efluentes tienen altos niveles de metales en solución, especialmente Zn, Cd, Cu y As. Las concentraciones de estos hacen que las aguas no sean aptas para su consumo, uso industrial o agrícola. Metales como Cd, Zn, Pb y Bi presentan el potencial de fracción intercambiable más alto es decir una alta biodisponibilidad, mientras Sb y Hg no tiene fracciones móviles, las concentraciones respectivas para cada metal identificado son: Zn de 1365 µg/g, Cd desde 28 hasta 240 µg/g, Cu desde 129 hasta 619 µg/g, As de 218 hasta 1.850 µg/g, Hg desde 95 hasta 370 ng/g, Bi desde 4 hasta 306 µg/g, Sb desde 6,8 hasta 56 µg/g, Ag desde 7,6 hasta 200 µg/g y Pb de 330 µg/g (Prieto, 1998).

En el departamento de Caldas, en el distrito minero de Marmato, se evaluó la contaminación en el río Marmato y sus afluentes, así como el río Cauca. Los resultados del estudio mostraron que las aguas del río Marmato llevan altos niveles de metales, donde las fuentes de contaminación son los vertimientos de las minas, generando que estas aguas no sean aptas para el riego, la vida acuática, consumo humano y otros usos. Las concentraciones de As van desde 10 hasta 850 mg/kg en temporada seca y desde 440 hasta 1.400 mg/kg en temporada húmeda. La mezcla del agua de río Marmato reduce las concentraciones de As (Alonso, Latorre, Catillo, & Brandao, 2014).

En doce departamentos (o provincias) de Colombia principales productores de oro: Antioquia, Santander, Nariño, Cauca, Caldas, Guainía, Vaupés, Quindío, Bolívar, Chocó, Córdoba y Tolima; se evaluó la gravedad de la exposición de Hg en términos de los efectos potenciales para la salud, por medio de una evaluación del riesgo probabilística. Las vías de exposición incluida en la evaluación del riesgo eran la inhalación de vapores de Hg elemental. Un total de 550 mediciones individuales de Hg en el aire de taller, que van desde <DL a 1 mg/m³ y 261 mediciones de Hg en el aire exterior, que van desde <DL a 0,652 mg/m³. Así estos resultados revelan claramente los niveles exorbitantes de riesgo (Miguel, Clavijo, Ortega, & Gómez, 2014).

¹ 1 mg = 1'000.000 ng

Cuenca	Región /Comunidad	Cuerpo de agua	Organismos	Metal tóxico reportado	Concentración	Fuente
Atlántico	Evidencias de la contaminación en el medio ambiente					
	Departamento de Magdalena	Sistemas fluviales	Época seca	Hg Total	<2,763 µg/L	(Álvarez León, 2006)
			Época lluviosa	Hg Total	0,384–9,034 µg/L	
			Sedimentos	Hg Total	186-476 µg/kg	
	Departamento de Bolívar	Vertedero de Cartagena	Lixiviados del vertedero	Cd	0,1234 mg/L	(Olivero-Verbel, Padilla-Bottet, & De la Rosa, 2008)
				Ni	0,2151 mg/L	
				Hg	<0,015 mg/L	
				Mn	0,0615 mg/L	
				Cu	<0,025 mg/L	
				Pb	< 0,1 mg/L	
	Departamento de Antioquia	Cauces de los municipios (Segovia, Remedios, Zaragoza, El Bagre y Nechí)	Aire urbano en minas	Hg	300 ng/m³ a 1.000.000 ng/m³	(Paul, Veiga, Salih, Al-Saadi, & Console, 2011)
			Aire urbano residencial	Hg	10.000 ng/m³	
	Departamento de Caldas, Marmato	Efluentes de minas de Oro	(Sedimentos) Agua	Zn	1.365 µg/g	(Prieto, 1998)
				Cd	28–240 µg/g	
				Cu	129–619 µg/g	
				As	218–1850 µg/g	
				Hg	95–370 ng/g	
				Bi	4–306 µg/g	
				Sb	6,8–56 µg/g	
				Ag	7,6–200 µg/g	
	Departamento de Caldas	Rio Marmato	Agua-Época seca	As	10 - 850 mg/kg	(Alonso, Latorre, Catillo, & Brandao, 2014)
			Agua-Época húmeda	As	440 – 1.400 mg/kg	
	Antioquia, Santander, Nariño, Cauca, Caldas, Guainía, Vaupés, Quindío, Bolívar, Chocó, Córdoba y Tolima		Aire de zona de trabajo	Hg elemental	DL a 1 mg/m³	(Miguel, Clavijo, Ortega, & Gómez, 2014)
			Aire de zona exterior	Hg elemental	DL a 0,652 mg/m³	

Tabla 1: Recopilación de la información de contaminación de metales tóxicos en el medio ambiente en la cuenca del Atlántico

2.2. EVIDENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN EN ORGANISMOS ACUÁTICOS

En el río Magdalena en la cuenca (baja, media y alta), se estudiaron muestras de tejido muscular de 129 individuos pertenecientes a 23 especies de peces, capturados en ocho puntos distribuidos a lo largo del río: Magdalena - Bolívar, El Banco - Magdalena, Gamarra - Cesar, Puerto Berrio - Antioquia, La Dorada - Caldas, Honda - Tolima, Girardot - Cundinamarca y Timaná - Huila. La concentración media de Hg encontrada fue de $0,338 \pm 0,517$ ppm, con un valor mínimo de 0,034 ppm correspondiente a (*Triportheus magdalenae*-Arenca) y un máximo de 4,580 ppm perteneciente (*Roeboides dayi* - Chango). De los individuos analizados, sólo cinco presentaron valores superiores a 1,0 ppm, los cuales, fueron capturados en inmediaciones de Puerto Berrio - Antioquia y Magangué - Bolívar, siendo las especies con las concentraciones promedio más altas (*A. pardalis-Doncella*) y (*Roeboides dayi*-Chango) con 1,759 y 1,416 ppm respectivamente, en tanto, las otras especies exhibieron concentraciones promedio inferiores a 0,436 ppm de Hg (Lancheros , 2013).

En el río Magdalena en la cuenca media, se estudiaron muestras de tejido muscular de 378 individuos pertenecientes a 24 especies de peces, capturados en nueve ciénagas de la cuenca: Palagua, Samaria, Río Viejo, Barbacoas, Chucurí, El Opón, Juan Esteban, Bija y Tabacurú. La concentración promedio de Hg más alta en el musculo se observó en (*Aequidens pulcher*- Acara azul) con un valor de 0,410 ug/g, en tanto (*Hoplosternum magdalenae*-Chipe) presento el menor valor medio de 0,043 ug/g, en el tejido hepático (*Caquetaia kraussii* – Mojarra amarilla) presento la concentración promedio más alta con un valor de 0,177 ug/g y (*Curimata mivartii* – Vizcaina) la más baja con un valor de 0,061 ug/g (Galeano Alvarez & Palacio, 2012).

En el departamento de Magdalena y el Departamento de Bolívar, respectivamente en la Bahía de Cartagena y la Ciénaga Grande de Santa Marta, se identificó Hg en músculos en dos especies de peces, (*Eugerres plumieri* - Mojarra rayada) con concentraciones desde 19 – 852 µg/kg, (*Mugil incilis* - Lisa rayada) con concentraciones desde DL – 166 µg/kg , en la Bahía de Cartagena, y en la ciénaga de Santa Marta las concentraciones de (*Eugerres plumieri* - Mojarra rayada fueron desde DL - 68 µg/kg , (*Mugil incilis* - Lisa rayada) fueron desde DL – 51 µg/kg, finalmente se observó que las mayores concentraciones de Hg están en la especie *Eugerres plumieri*, a diferencia de *Mugil incilis*. También se detectaron concentraciones altas de mercurio en los sedimentos de la Bahía de Cartagena frente a la descarga de aguas residuales cercanas, con la disminución de las concentraciones en la Ciénaga de Santa Marta que está ubicada lejos de la descargas (Alonso, Pineda, Olivero, González, & Campos, 2000).

En el departamento de Bolívar, en la Bahía de Cartagena y Totumo Marsh, se identificó Hg total en el contenido y cascara de los huevos de (*Egretta thula*- garza blanca) con concentraciones de <29,67 ng/g en la bahía de Cartagena y de <27,07 ng/g en la ciénaga Totumo Marsh , por otra parte se obtuvieron concentraciones de <19,68 ng/kg y <7,32 en la bahía de Cartagena y Totumo Marsh respectivamente, obteniendo que las concentraciones

de T-Hg en la cáscara del huevo como el contenido del huevo fueron mayores en las muestras de la Bahía de Cartagena, ubicada en el complejo industrial, en comparación con Totumo Marsh, con una ubicación no industrial (Olivero-Verbel, Agudelo-Frias, & Caballero-Gallardo, 2013).

En el Departamento de Bolívar, en la Mina de Santa Cruz, una de las minas más grandes de oro en Colombia, se realizó un estudio en el ecosistema aledaño donde se identificó Hg en las siguientes especies de peces presentes en diferentes niveles tróficos del cuerpo de agua aledaño, en el fitoplancton (*Magdalenae reticulatus prochilodus*-Bocachico) y (*Curimata mivartii*-Vizcaína), detritívoros con tendencia a zooplanctónica (*Triportheus magdalenae*-Arenca) y (*Curimata magdalenae*-Pincho), y el carnívoro (*Krausius petenia*-Mojarra amarilla), (*Aequidens pulcher*-Mojarra azul), (*Plagioscion surinamensis*)-Pacora) y (*Hoplias malabaricus*-Moncholo). El contenido de mercurio en el músculo de los peces varía en función de la posición en la cadena trófica y los hábitos de alimentación de cada especie, oscilando entre los siguientes valores (<7,4 -1084 µg / kg) (Olivero & Solano, 1998).

En el departamento del Tolima, en el municipio de Honda sobre el río Magdalena, el estudio detectó concentraciones de metales pesados (Hg, Cd, Cu, Zn, Pb), en la especie (*Pimelodus clarias* - nicuro), con los siguiente niveles de contaminación, Hg (0,03 - 3,53 mg/kg) , Cd (0,001 - 0,104 mg/kg), Cu (DL - 0,447 mg/kg), Zn (10,81- 23 mg/kg) y finalmente para Pb no se presentaron niveles de contaminación y en (*Prochilodus magdalenae*- bocachico) con los siguientes niveles de contaminación, Hg (0,02 - 2,6 mg/kg) , Cd (nd - 0,256 mg/Kg), Cu (nd - 6,512 mg/Kg), Zn (9,14 - 41,89 mg/Kg) y Pb (nd - 4,76 mg/Kg). Estos niveles de contaminación presentan un peligro para la salud de los pescadores y sus familias, ya que son muy cercanos al límite fijado por la FAO/OMS (Mancera Rodríguez & Álvarez León, 2006).

En el departamento de Cauca, en la Ciénaga Grande de Achí, se encontraron concentraciones de Hg en las especies de los eslabones más altos de la cadena trófica en consumidores terciarios, especies como, (*Ageneiosus caucanus* - doncella), (*Caquetaia kraussii* - mojarra amarilla) y (*Hoplias malabaricus* - moncholo), siendo éstas concentraciones superiores a los límites aceptados internacionalmente de 0,5 µg/g de Hg para consumo de peces, llegando a una concentración de 1,236 µg/g de Hg en la doncella. Para todas las muestras, las especies pertenecientes a los diferentes niveles tróficos presentan diferencias estadísticas significativas, a la vez que también se detectaron diferencias significativas entre especies carnívoras capturadas en diferentes períodos de tiempo, siendo mayores durante los más secos. Se determinó que el consumo de pescado de esta ciénaga representa un alto riesgo de contaminación por Hg para los pescadores y sus familias, que dependen únicamente de este ecosistema para obtener su fuente de proteína (Mancera Rodríguez & Álvarez León, 2006).

En el departamento del Cauca, en el río Cauca y la laguna de Sonso, se detectaron concentraciones de Pb en la laguna de Sonso, principalmente en las siguientes especies de peces: (*Oreochromis niloticus* - Tilapia) con concentraciones desde 0,28 - 0,16 ug/g, (– Guramis) con concentraciones desde 0,80 - 0,40 ug/g y (*Chaetostoma fischeri* - Corroncho) con concentraciones desde 0,47 - 0,22 ug/g, así como también en sangre humana de pescadores de Puerto Bertín y Porvenir, asentamientos cercanos a la laguna. Este resultado podría mostrar la bioacumulación de plomo tanto en peces como en la población de Puerto Bertín y Porvenir, donde la dieta principal es el pescado de la laguna de Sonso (Gischler, 2005).

En el departamento de Cundinamarca en la cuenca alta del río Bogotá, se evaluó el efecto tóxico de los metales pesados Cd, Pb, Cu, Fe, Zn, Mg, Mn y Cr, en el agua y en la musculatura del pez capitán (*Eremophilus mutisii*) provenientes de un tramo del río Bogotá, correspondiente a la zona situada entre Villapinzón y Suesca, los resultados muestran que el agua presenta niveles nocivos de Cr (0.213 µg/ml y 0.08µg/ml), Mg (0.087µg/ml), Pb (0.017µg/ml) y Fe (0.79 µg/ml y 0.93µg/ml) en Chocontá y Suesca (respectivamente) que se correlacionaron con las concentraciones de Pb (3.4 µg/g y 3.1 µg/g), Cr (1.8µg/g y 2.1µg/g) y Cd (0.35µg/g y 0.48µg/g) encontradas en la musculatura del pez capitán provenientes de Chocontá y Suesca respectivamente, sin diferencias significativas entre las zonas estudiadas (Rodríguez Forero, Suarez, & Gonzalez, 2007).

En doce departamentos (o provincias) de Colombia principales productores de oro: Antioquia, Santander, Nariño, Cauca, Caldas, Guainía, Vaupés, Quindío, Bolívar, Chocó, Córdoba y Tolima; se evaluó la gravedad de la exposición de Hg en términos de los efectos potenciales para la salud, por medio de una evaluación del riesgo probabilística. La vía de exposición incluida en la evaluación del riesgo era la ingestión de pescado contaminado con mercurio de metilo. Las concentraciones promedio de Hg total en el pescado (70 datos) oscilaron desde 0,026 hasta 3,3 µg/g. a continuación se identifican los valores de concentración de Hg en el músculo de pescado en cada uno de estos departamentos: Antioquia desde 0,45 hasta 3,3 µg/g, Santander desde 0,05 hasta 1,7 µg/g , Nariño desde 0,026 hasta 0,83 µg/g, Cauca desde 0,16 hasta 0,5 µg/g, Caldas desde 0,03 hasta 0,8 µg/g, Guainía desde 0,17 hasta 0,43 µg/g, Vaupés desde 0,17 hasta 0,43 µg/g, Quindío desde 0,2 hasta 0,5 µg/g, Bolívar desde 0,001 hasta 2,92 µg/g, Chocó desde 0,026 hasta 1,341 µg/g, Córdoba desde 0,13 hasta 2,8 µg/g y Tolima desde 0,05 hasta 1.178 µg/g (Miguel, Clavijo, Ortega, & Gómez, 2014).

Cuenca	Región /Comunidad	Cuerpo de agua	Organismos	Metal tóxico reportado		Concentración	Fuente
Atlántico	Evidencias de la contaminación en organismos acuáticos						
	Magangue Bolívar, El Banco Magdalena, Gamarra Cesar, Puerto Berrio Antioquia, La Dorada Caldas, Honda Tolima, Girardot Cundinamarca y Timaná Huila	Cuenca alta media y baja del río Magdalena	Arenca	Hg	Min	0,034 ppm	(Lancheros , 2013)
			Chango	Hg	Max	4,580 ppm	
					Med	1,416 ppm	
			Doncella	Hg	Med	1,759 ppm	
			Otros	Hg	Med	0,436 ppm	
	Palagua, Samaria, Río Viejo, Barbacoas, Churí, El Opón, Juan Esteban, Bija y Tabacurú	Cuenca media Río Magdalena	Acara azul	Hg	Max	0,410 ug/g	(Galeano Alvarez & Palacio, 2012)
			Chipe		Min	0,043 ug/g	
			Mojarra Amarilla		Max	0,177 ug/g	
			Vizcaina		Min	0,061 ug/g	
	Departamento de Bolívar	Bahía de Cartagena	Mojarra Rayada	Hg	19-852 µg/kg		(Alonso, Pineda, Olivero, González, & Campos, 2000)
			Lisa Rayada		DL-166 µg/kg		
	Departamento de Magdalena	Ciénaga de Santa Marta	Mojarra Rayada	Hg	DL-68 µg/kg		
			Lisa Rayada		DL-51 µg/kg		
	Departamento de Bolívar	Bahía de Cartagena	Contenido en el huevos de Garza blanca	Hg	<29,67 ng/g		(Olivero-Verbel, Agudelo-Frias, & Caballero-Gallardo, 2013)
		Bahía de Totumo Marsh			<27,07 ng/g		
		Bahía de Cartagena	Contenido en la cascara de huevo -Garza blanca		<19,69 ng/kg		
		Bahía de Totumo Marsh			<7,32 ng/kg		
	Departamento de Bolívar, Mina de Santa Cruz	Pantano Mina Santa Cruz- Río Magdalena	Bocachico	Época Seca	Hg	20 - 38 µg/kg	(Olivero & Solano, 1998)
			Vizcaína			15-62 µg/kg	
			Arenca	188-1.084 µg/kg			
			Bocachico	11-129 µg/kg			
			Vizcaína	31-38 µg/kg			

Tabla 2: Recopilación de la información de contaminación de metales tóxicos en organismos acuáticos en la cuenca del Atlántico

Cuenca	Región /Comunidad	Cuerpo de agua	Organismos	Metal tóxico reportado	Concentración	Fuente	
Atlántico	Evidencias de la contaminación en organismos acuáticos						
	Departamento del Tolima, Honda	Río Magdalena	Nicuro	Hg	0,03 - 3,53 mg/kg	(Mancera Rodríguez & Álvarez León, 2006)	
				Cd	0,001 - 0,10 mg/kg		
				Cu	DL - 0,447 mg/kg		
				Zn	10,81 - 23 mg/kg		
			Bocachico	Hg	0,02 - 2,6 mg/Kg		
				Cd	DL- 0,256 mg/Kg		
				Cu	DL- 6,512 mg/kg		
				Zn	9,14 - 41,8 mg/Kg		
	Departamento de Cauca	Río Caca y Laguna de Sonso	Tilapia	Pb	0,28 - 0,16 ug/g	(Gischler, 2005)	
			Guramis		0,80 - 0,40 ug/g		
			Chorroncho		0,47 - 0,22 ug/g		
	Departamento de Cundinamarca	Cuenca alta de río Bogotá (Choconta y Suesca)	Pez Capitán	Pb	3,4 µg/g y 3,1 µg/g	(Rodriguez Forero, Suarez, & Gonzalez, 2007)	
				Cr	1,8 µg/g y 2,8 µg/g		
				Cd	0,35µg/g y 0,48µg/g		
	Departamento de Cauca	Ciénaga Grande de Achí	Doncella	Hg	1,236 µg/g	(Mancera Rodríguez & Álvarez León, 2006)	
			Mojarra amarilla				
			Moncholo				
	Antioquia			Principales especies de peces	Hg	0,450 - 3,3 µg/g	(Miguel, Clavijo, Ortega, & Gómez, 2014)
	Santander					0,05 - 1,7 µg/g	
	Nariño					0,026 - 0,830 µg/g	
	Cauca					0,16 - 0,5 µg/g	
	Caldas					0,03 - 0,8 µg/g	
	Guainía					0,17 - 0,43 µg/g	
	Vaupés					0,17 - 0,43 µg/g	
Quindío			0,2 - 0,5 µg/g				
Bolívar			0,001 - 2,92 µg/g				
Chocó			0,026 - 1,341 µg/g				
Córdoba			0,13 - 2,8 µg/g				
Tolima			0,05 - 1,178 µg/g				

Continuación de la Tabla 2: Recopilación de la información de contaminación de metales tóxicos en organismos acuáticos en la cuenca del Atlántico

2.3. EVIDENCIAS DE CONTAMINACIÓN EN SECTOR AGRÍCOLA

En el departamento de Cundinamarca, en la Sabana de Bogotá se realizó un estudio de evaluación de riesgos de las concentraciones de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb y Zn en los suelos de cultivo. Los diversos municipios donde se muestrearon los suelos fueron: Bojacá, Madrid, Bosa, Soacha, Mosquera, Cota, Funza, Engativá, Chía, Cajicá y Zipaquirá. La máxima medida que las concentraciones encontradas fueron 3,2 mg/kg en la zona norte (Zipaquirá) y 12,0 mg/kg en la zona sur (Soacha). Los resultados mostraron que las áreas de mayor concentración de As se encuentran en la parte sur de la Sabana de Bogotá, donde el río Bogotá recibe cargas de contaminación de las zonas industriales y urbanas de la ciudad, así como los residuos procedentes de la industria del cuero aguas arriba (Alonso, Latorre, Catillo, & Brandao, 2014)

En el departamento de Cundinamarca, en los municipios de Soacha y Mosquera, se estudió una amplia zona de cultivos de hortícolas y se analizó la presencia de algunos contaminantes como el As en el agua de riego, el suelo y tejido vegetal: (*Lectura Sativa-lechuga*), (*Apia gaviales-apio*), (*Básica oleácea bar-repollo*) y (*Básica oleácea itálica-brócoli*). Los niveles de As encontrados fueron de 3,0 µg/l (<0.003 mg/l) en agua para riego, 1,7 mg/kg en suelo, y desde 0,02-0,19 mg/kg en el tejido vegetal (Miranda, y otros, 2008).

En el departamento de Cundinamarca, en la ciudad de Bogotá, la Secretaría Distrital de Salud, ha evaluado los niveles de contaminación de As, Cd, Cr, Hg y Pb en las plantaciones de hortalizas en Bosa, regados con aguas residuales domésticas de los barrios de los alrededores, el agua de lluvia y del río Tunjuelito. Se obtuvo como resultado que entre las muestras analizadas, sólo el 2,6% y el 5,9% de la lechuga y acelga, respectivamente, tenían niveles por encima del nivel permisible como 0,14 mg/kg. Los niveles que en los suelos muestreados varió desde 0,5 hasta 1,3 mg/kg mucho más bajos que los niveles reportados para otros suelos de la Sabana de Bogotá (Alonso, Latorre, Catillo, & Brandao, 2014).

En el departamento de Cundinamarca, se realizó un estudio para identificar las concentraciones de As en los suelos agrícolas y en los tejidos de las plantas producto de la actividad, en los municipios cercanos al río Bogotá, como Bosa, Cota y Ricaurte. Según el autor, se identificó una relación directa entre la absorción medida por las plantas y los contenidos como en el hierro y fracciones óxido de manganeso. El As total contenido en los suelos fueron desde 0,98 - 2,54 mg/kg, y los de las plantas fueron desde 0,116 - 0,199 mg/kg. Aunque los niveles detectados están por debajo de los límites permisibles en suelos agrícolas y tejidos de plantas, si se está teniendo un riesgo significativo de exposición para los consumidores (Alonso, Latorre, Catillo, & Brandao, 2014).

Cuenca	Región /Comunidad	Cuerpo de agua	Organismos	Metal tóxico reportado	Concentración	Fuente
Atlántico	Evidencias de la contaminación en sector agrícola					
	Departamento de Cundinamarca	Sabana de Bogotá: Bojacá, Madrid, Bosa, Soacha, Mosquera, Cota, Funza, Engativá, Chía, Cajicá y Zipaquirá.	Suelos de cultivo	As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb y Zn	3,2 – 12,0 mg/kg	(Alonso, Latorre, Catillo, & Brandao, 2014)
	Departamento de Cundinamarca	Río Bogotá: Soacha y Mosquera	Agua de riego	As	3,0 µg/L	(Miranda, y otros, 2008)
			Suelo		1,7 mg/kg	
			Tejido vegetal (Lechuga, apio, brócoli, repollo)		0,02-0,19 mg/kg	
	Departamento de Cundinamarca	Río Bogotá: Bosa	Hortalizas	As, Cd, Cr, Hg y Pb	>0,14 mg/kg	(Alonso, Latorre, Catillo, & Brandao, 2014)
			Suelo		0,5 – 1,3 mg/kg	
	Departamento de Cundinamarca	Río Bogotá: Bosa, Cota y Ricaurte	Plantas	As	0,116 – 0,199 mg/kg.	(Alonso, Latorre, Catillo, & Brandao, 2014)
			Suelo		0,98 - 2,54 mg/kg	

Tabla 3: Recopilación de la información de contaminación de metales tóxicos en el sector agrícola en la cuenca del Atlántico

2.4. EVIDENCIAS DE CONTAMINACIÓN EN PERSONAS

En el departamento de Bolívar en la ciudad de Cartagena se identificaron niveles de Pb en sangre de niños de 5-9 años, donde el 7,4% tenían niveles de Pb por encima de 10 mg/DL, con un valor promedio de 5,49 mg/DL. Actividades como la fusión de metales y la producción de artefactos de pesca con Pb son algunas de las fuentes de exposición a dicho contaminante en Cartagena; igualmente el gran número de comunidades de pescadores que pueblan las costas del Atlántico y del Pacífico y los principales ríos de Magdalena y Cauca en Colombia, tienen un alto riesgo de exposición al plomo no solo en relación a sus labores cotidianas sino también con el hecho de que estas personas dependen del pescado producido localmente como su principal fuente de proteínas (Olivero Verbel, Duarte, Echenique, & Guette, 2007).

En el sur del departamento de Bolívar se presentan un gran número de actividades mineras, donde existen pérdidas de oro fino y Hg, presentando una relación de 65-70% de Hg por 30-35% de Au, metales asociados (Cr, Zn, Pb, As), y se expulsan al ambiente sin ningún tipo de tratamiento, ya que no se realiza neutralización antes de verterlas. Finalmente el

autor reporta que se han comprobado problemas médicos relacionados con audición, comunicación, masticación, deglución y equilibrio, así como raquitismo en los peces presentes y aun desaparición de seis especies que hacían aporte de la dieta alimenticia (Álvarez León, 2006)

En el departamento de Antioquia y Córdoba en la cuenca del río San Jorge, se identificó presencia de Hg en el pelo de los habitantes de la cuenca, en el trabajo realizado por Olivero y colaboradores, se estableció que el origen de Hg era el consumo de pescado como principal fuente de proteína, los valores promedio reportados fueron, pelo en personas de fue 4,91 mg/g de Hg (n = 94), similar al valor detectado previamente en los pescadores que viven en el área de la minería del oro, a 50 km al este. Los hombres tenían concentraciones de 4,31 mg/g (n = 56) y en las mujeres 5,78 mg/g (n = 38) y no hubo diferencias en los niveles de Hg entre grupos de diferentes edades (Olivero, Johnson, & Arguello, Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America), 2002).

En el departamento de Cundinamarca, en el municipio de Sibate, se realizó un estudio el cual presento altos niveles de metales pesados como Hg, As y Pb; en el pelo humano con valores promedio de 2,79 µg/g de Hg, en la sangre 7,67 nmol/L de Cd y 0,005 mg/DL de Pb (Sarmiento, Idrovo, Restrepo, Diaz, & Gonzalez, 1999).

En el departamento de Cundinamarca en la ciudad de Bogotá D.C, se identificó que 9 de cada 10 bogotanos tienen mercurio y plomo en su organismo, el estudio fue realizado a 400 personas de entre 3 y 91 años demostrando que existe alta concentración de estos elementos en la orina, sangre y cabello, sobrepasando los niveles recomendado por el Instituto Nacional de Salud (INS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Obteniendo como resultado que la prevalencia de contaminación por mercurio en pelo fue del 98,7%, en sangre del 80,8% y en orina del 40,6%. En cuanto al plomo en sangre la prevalencia fue del 93,9%. Adicional a esto; tres de las personas del estudio presentaron concentraciones de mercurio superiores a los valores de referencia del (INS); mientras que para plomo tres individuos registraron concentraciones en sangre superiores a las recomendadas por el INS y la OMS (Universidad Nacional, 2014).

Cuenca	Región /Comunidad	Cuerpo de agua	Organismos	Metal tóxico reportado	Concentración	Fuente
Atlántico	Evidencias de la contaminación en personas					
	Departamento de Bolívar - Cartagena		Niños de 5-9 años (sangre)	Pb	5,49 mg/DL	(Olivero Verbel, Duarte, Echenique, & Guette, 2007)
	Departamento de Antioquia y Córdoba	Cuenca del río San Jorge	Personas - Pelo Mujer	Hg	5,78 mg/g	(Olivero, Johnson, & Arguello, Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America), 2002)
			Personas - Pelo Hombre		4,31 mg/g.	
			Personas – Pelo		4,91 mg/g	
	Sibate y Ricaurte	Río Bogotá	Personas – Pelo	As	2,78 µg/g	(Sarmiento, Idrovo, Restrepo, Diaz, & Gonzalez, 1999)
			Personas –Sangre	Cd	7,67 nmol/L	
			Personas - Sangre	Pb	0,005 mg/DL	

Tabla 4: Recopilación de la información de contaminación de metales tóxicos en personas en la cuenca del Atlántico

3. CUENCA DEL PACÍFICO

3.1. EVIDENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN EN ORGANISMOS ACUÁTICOS

En el departamento del Chocó, en el río Condoto, se detectaron concentraciones de Hg en tejidos musculares de *Brycon meeki*, *Rhamdia wagneri*, *Pomadasys* y *Hoplias malabarius*, siendo esta última especie la que presente mayor cantidad de Hg en sus tejidos con desde 0,024 hasta 0,731 mg/kg; *Brycon meeki* con valores desde 0,008 hasta 0,158 mg/kg; *Pomadasys bayanus* con valores de 0,026 mg/kg; y *Rhamdia wagneri* con valores desde 0,0003 hasta 0,230 mg/kg, estas concentraciones detectadas están relacionadas con la actividad minera de oro desarrollada en el río Condoto, actividad que es el eje de la economía local y que vierte Hg al río que paulatinamente se acumula en los diferentes organismos acuáticos pasando de un nivel trófico a otro por medio de la cadena alimenticia (Mancera Rodríguez & Álvarez León, 2006).

Cuenca	Región /Comunidad	Cuerpo de agua	Organismos	Metal tóxico reportado	Concentración	Fuente
Atlántico	Evidencias de la contaminación en organismos acuáticos					
	Departamento de Chocó	Cuenca del río Condoto	<i>Brycon meeki</i>	Hg	0,008 – 0,158 mg/kg	(Mancera Rodríguez & Álvarez León, 2006)
			<i>Rhamdia wagneri</i>		0,0003–0,231 mg/kg.	
			<i>Pomadasys</i>		0,026 mg/kg	
			<i>Hoplias malabarius</i>		0,024 - 0,731mg/kg	

Tabla 5: Recopilación de la información de contaminación de metales tóxicos en organismos acuáticos del Atlántico

4. CUENCA DEL ORINOCO

4.1. EVIDENCIAS DE CONTAMINACIÓN EN PERSONAS

En el departamento de Orinoco se ha evidenciado el crecimiento de la minería aurífera en los últimos 15 años, ha generado, además, un problema de salud pública debido a varios factores como el uso del mercurio durante el proceso de amalgamación del oro, la contaminación del ecosistema y la exposición de la población de la región. Los resultados indican un ambiente laboral precario y falta de conocimiento del riesgo ecológico; los valores de mercurio en sangre en los mineros fluctuó entre 6,9-168µg/l y entre los individuos indirectamente expuestos 17,7-100,8µg/l, mientras que en el pelo de los mineros fluctuó entre 3-89,2µg/l y entre los expuestos indirectamente 2,8-48,7µg/l. Situaciones similares se presentan en otras regiones de Colombia, tales como Bolívar, Santander y Caldas (Idrovo, y otros, 2001).

Cuenca	Región /Comunidad	Cuerpo de agua	Organismos	Metal tóxico reportado	Concentración	Fuente
Orinoco	Evidencias de la contaminación en personas					
	Departamento del Orinoco	Cuenca Río Orinoco	Mineros- Sangre	Hg	6,9-168 µg/l	(Idrovo, y otros, 2001)
			Mineros- Pelo	Hg	3,0-89,2 µg/l	
			Personas indirectamente expuestas por minería - Sangre	Hg	17,7-100,8 µg/l	
			Personas indirectamente expuestas por minería - Pelo	Hg	2,8-48,7µg/l	

Tabla 6: Recopilación de la información de contaminación de metales tóxicos en personas en la cuenca del Orinoco

5. CUENCA DEL AMAZONAS

5.1. EVIDENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN EN EL MEDIO AMBIENTE

En otras zonas del país como en el departamento de la Amazonía, no se han realizado estudios significativos para determinar la concentración de metales tóxicos, sin embargo, existen zonas puntuales que deben presentar serios problemas de contaminación por mercurio debido a que existe una importante actividad de minería de oro de carácter artesanal en varios de sus ríos, ejerciéndose una presión importante sobre los cuerpos de agua y los recursos hidrobiológicos presentes (Mancera Rodríguez & Álvarez León, 2006).

6. CUENCA DEL CATATUMBO

En la investigación realizada en la literatura científica no se identificaron estudios frente a la contaminación de metales tóxicos en la cuenca del pacifico, se infiere que el motivo radica en ausencia de recursos para la generación de investigaciones.

7. CONCLUSIONES

La mayoría de los estudios identificados en esta revisión han sido realizados en la cuenca del atlántico, que comprende en su mayoría la cuenca del magdalena, por el contrario en las cuencas del Catatumbo no se evidencian estudios asociados, y en la cuenca del Orinoco, Pacifico y Amazonas los estudios son limitados, por lo cual se evidencia evidenciando una ausencia en la cobertura de investigación de estas cuencas.

Los estudios que se han realizado en relación con la contaminación de metales tóxicos en organismos acuáticos de consumo humano han sido mayormente restringidos a una zona del país, la cuenca del magdalena, principal arteria fluvial del país, los estudios han reportado presencia de metales tóxicos en una varias especies de pescado, entre estas mojarra, nicuro, bochachico y tilapia con concentraciones altas de Hg, Pb, Cd, entre otras. Esta información es importante teniendo en cuenta que el pescado es la proteína más consumida en estas regiones, lo cual conlleva a un problema de salud pública para la población que incluye esta proteína en su dieta.

Los estudios que se han realizado en relación con la contaminación de metales tóxicos en el sector agrícola han sido mayormente desarrollados en el departamento de Cundinamarca con mayor precisión en la sabana de Bogotá. Los estudios han reportado altos niveles de As, Cd, Hg, Pb, entre otros, en suelos de cultivos y aguas de riego de cultivos, y niveles en el tejido vegetal de algunas especies de hortalizas entre estas brócoli, lechuga y repollo. Esta información es importante teniendo en cuenta que se trata de algunas de las verduras

más consumidas en Colombia, por lo cual el consumo de las mismas con frecuencias significativas y a perdidos de exposición largos generara problemas en la salud pública.

Las concentraciones de metales tóxicos en el tejido vegetal y suelos de cultivos presentes en la sabana de Bogotá se asocian con la presencia de los mismos en el agua de riego tomada del río Bogotá, por lo cual se puede atribuir como ruta de exposición de los metales tóxicos el agua del río Bogotá y sus afluentes, los cuales están altamente contaminados por efluentes de las zonas industriales y urbanas de la ciudad de Bogotá.

En cuanto a la presencia de metales tóxicos Hg, Pb y As, en las personas, se evidencian pocos estudios realizados en Colombia, sin embargo en estos estudios reportan concentraciones altas en el pelo humano y sangre, de lo cual concluimos la necesidad de realizar más estudios en Colombia sobre la presencia de estos metales tóxicos en las personas, para correlacionar los contenidos de estos metales tóxicos en los alimentos con las rutas de exposición (suelo, agua, alimentos), que pueden revelar la vía de exposición a través de la cadena alimentaria humana y evaluar su peligro y su impacto en la salud humana.

Por último, esta revisión destaca la necesidad de una mayor investigación en la comprensión de la aparición, el origen, la distribución, la especialización y la remediación de Hg, Pb, As y Cd en Colombia dado los avances significativos en curso del país en la industria, la minería y las actividades agrícolas, todo lo cual podría conducir a una mayor medida en la contaminación de Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, D., Latorre, S., Catillo, E., & Brandao, P. (2014). Environmental occurrence of arsenic in Colombia: A review. *Environmental Pollution*, 186, 272-281.

Alonso, D., Pineda, P., Olivero, J., González, H., & 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.

Álvarez León, R. (2006). Efectos del aprovechamiento de metales preciosos en Colombia: los metales pesados en las aguas continentales, estuarinas y marinas. *Acta del segundo congreso internacional sobre geología y minería en la ordenación en le territorio y en el desarrollo*, 11, págs. 3-23. Utrillas.

Galeano Alvarez, S., & Palacio, J. (2012). Biocumulacion de mercurio (Hg) en tejido muscular y hepatico en especies icticas de diferentes cienagas del Magdalena Medio. *IX Seminario colombiano de limnologia actualiddes biologicas*, (págs. 44-45). Dpto. Antioquia.

- Gischler, C. (2005). Pathways of heavy metals and implications for stakeholders, Sonso Lagoon . Departamento del Cauca : TRITA-LWR Master Thesis.
- Idrovo, A. J., Manotas, L. E., Villamil de Garcia, G., Ortíz, J. E., Silca, E., & Romero, S. A. (2001). Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía (Orinoquía colombiana). *Biomedica*, 21, 134-141.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2010). *Preventable Exposures Associated With Human Cancers*. Oxford: IARC.
- Lancheros , L. J. (2013). Contenido de mercurio en musculo de algunas especies icticas de interes comercial presentes en ocho sitios de muestreo de la cuenca (baja,media y alta) del rio Magdalena. *Universidad Militar Nueva Granada*, 1-14.
- Mancera Rodríguez, N. J., & 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.
- Mazo-Gray, L., Sbriz, L., & Alvarez, M. (1997). Determination of Traces of Heavy Metals in Estuarine Waters of Barbacoas Bay, Colombia, by X-Ray Fluorescence Spectrometry. *X-Ray Spectrometry* , 26(2), 57-64.
- Miguel, E. D., Clavijo, D., Ortega, M., & Gómez, A. (2014). Probabilistic meta-analysis of risk from the exposure to Hg in artisanal gold mining communities in Colombia. *Chemosphere*, 108, 183-189.
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C., Jerez, C., Fischer, G., & 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.
- Olivero Verbel, J., Duarte, D., Echenique, M., & Guette, 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.
- Olivero, J., & 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), 83-39.
- Olivero, J., Johnson, B., & 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.

- Olivero, J., Johnson, B., & Arguello, E. (2002). Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America). En S. Direct, *Science of The Total Environmen* (págs. 41- 47). Rio San Jorge - Colombia: ELSEVIER.
- Olivero-Verbel, 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. *Marina Pollution Bulletin* , 69(1-2), 105-109.
- Olivero-Verbel, J., Padilla-Bottet, C., & 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.
- Paul, C., Veiga, M., Salih, I., Al-Saadi, S., & Console, S. (2011). Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Science of the Total Environment*, 410-411, 154-160.
- Periodico el Nuevo Día . (12 de Marzo de 2012). Existen metaes pesados en nicuros del Magdaena . *El Nuevo Día, el periodico de los Tolimenses*.
- Prieto, G. (1998). Geochemistry of heavy metals derived from gold-bearing sulphide minerals in the Marmato District (Colombia). *Journal of Geochemical Exploration* , 64(1-3), 215-222.
- Rodriguez Forero, A., Suarez, R., & Gonzalez, F. (2007). Bioacumulación por metales pesados en el capitán de la sabana (*eremophilus mutisii*), habitante de la cuenca alta del río bogotá. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 2, 101-105.
- Sarmiento, M. I., Idrovo, A. J., Restrepo, M., Diaz, M. d., & Gonzalez, A. (1999). Evaluación del impacto de la contaminación del embalse del Muña sobre la salud humana. *Revista de Salud Publica*, 1(2), 160-171.
- Universidad Nacional. (14 de 02 de 2014). 9 de cada 10 bogotanos tiene mercurio y plomo en su organismo. *EL ESPECTADOR*, pág. 5.

NOTA: Este documentos esta realizado bajo los parámetros establecidos para la publicación del libro Metales tóxicos en el recurso pesquero: Implicaciones para la salud ambiental.