

Evaluación de la contaminación por metilmercurio en la especie *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) del área de pesca comprendida entre el corregimiento Bijagüal y la zona urbana de Nechí y los humedales El sapo y Bijagüal del río Nechí; factor de riesgo químico que afecta la calidad de la especie

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar por el título de Maestría en Gestión de la Calidad de Alimentos

Carlos José Caballero Pereira

Asesor

Carlos Arturo David Ruales

PhD Ciencias Agrarias

Corporación Universitaria Lasallista

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Alimentos

Caldas Antioquia

2017

Dedicatoria

El logro de esta investigación lo dedico de forma muy especial a Dios, por su amor incondicional, sabiduría inagotable y ser mi apoyo en todos los proyectos que me propongo.

A mis hijos Valentina y José Carlos por ser la razón de mi existir.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación se realizó gracias al apoyo y aportes de: la Corporación Universitaria Lasallista; el doctor Luis Fernando Garcés Giraldo, Vicerrector de Investigaciones, por su gran apoyo y confianza incondicional, al doctor Carlos Arturo David Ruales, por sus valiosos aportes, entrega, dedicación, paciencia y por su gran profesionalismo para guiar el desarrollo de esta investigación.

Al profesor Leónidas Millán por sus oportunos aportes e indicaciones que ayudaron a validar los resultados de esta investigación.

Al Doctor Luis Marrugo, Director del laboratorio de Gestión Ambiental y Toxicología de la Universidad de Córdoba, Saudith Burgos, asistente de dicho laboratorio, por sus aportes y recomendaciones oportunas y al señor Ezequiel Flórez, presidente de la Cooperativa de Pescadores del río Nechí, por su entrega y dedicación para obtención de las muestras.

Tabla de contenido

Introducción	12
Justificación	18
Planteamiento de la pregunta o del problema de investigación	21
Objetivos	22
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos.....	22
Marco referencial	23
Biología del bagre rayado.....	23
Características generales.....	23
Descripción del orden siluriformes.....	23
Taxonomía	24
Bioecología del <i>P. fasciatum</i>	25
Distribución geográfica	26
Cuenca del río Nechí	27
Generalidades químicas del mercurio.....	28
Identificación y características químicas del mercurio	28
Compuestos orgánicos	29
Metilmercurio (MeHg)	31
Biotransformación, bioacumulación y biomagnificación del mercurio .	32
Ciclo del mercurio en el ambiente acuático	34
Cinética y metabolismo del metilmercurio.....	36
Absorción y transporte.....	36
Distribución del metilmercurio en el cuerpo humano	37
Metabolismo del metilmercurio	38
Excreción del metilmercurio.....	38
Efectos del metilmercurio sobre la salud.....	41
Neurotoxicidad del metilmercurio.....	41
Inmunotoxicidad del metilmercurio	43
Efectos cardiovasculares.....	44
Efectos carcinogénicos.....	47
Efectos sobre el sistema reproductivo	47
Efectos genotóxicos.....	48
Efectos renales	49

Otros efectos del mercurio sobre la salud	50
Presencia del metilmercurio en peces	51
Panorama normativo nacional e internacional sobre la presencia de mercurio en alimentos	53
Materiales y métodos	57
Área de estudio.....	57
Recolección y tratamiento de las muestras	60
Detección de metilmercurio	60
Cociente de Peligro	61
Análisis estadístico	61
Resultados	63
Tallas y pesos encontrados	63
Análisis estadístico tallas y pesos.....	65
Concentración promedio de metilmercurio total en músculo dorsal del <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (bagre rayado).	67
Concentración promedio de metilmercurio total en piel dorsal del <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (bagre rayado).	68
Análisis estadístico de la concentración de MeHg en músculo y piel .	70
Estimación del riesgo e impacto posible sobre la población por consumo de <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (bagre rayado).	72
Fortalecimiento del conocimiento de la contaminación por metilmercurio del <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (bagre rayado), de algunos sitios de pesca del río Nechí.	73
Discusión	75
Conclusiones	81
Recomendaciones	82
Referencias.....	83
Apéndices	100

Lista de tablas

pág.

Tabla 1. Recomendaciones sobre el consumo de pescado durante la gestación y lactancia	14
Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del mercurio y alguno de sus compuestos entre 20°C - 25°C	31
Tabla 3. Datos sobre la presencia de mercurio en pescados de algunos países	54
Tabla 4 Estaciones de Muestreo y coordenadas de ubicación	58
Tabla 5. Tallas promedio (cm) del <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (bagre rayado) por estaciones y época de muestreo.....	63
Tabla 6. Pesos promedios (kg) del <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (bagre rayado) por estación y época de muestreo.....	64
Tabla 7. Análisis estadístico talla y peso.....	65
Tabla 8. Concentración promedio de MeHg total ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso fresco) del músculo dorsal del <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (bagre rayado) por estación y época de muestreo.....	68
Tabla 9. Concentración promedio de MeHg total ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso fresco) en piel del <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (bagre rayado) por estación y época de muestreo....	69
Tabla 10. Análisis de varianza del músculo y piel del <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (bagre rayado) por estación y época de muestreo	70
Tabla 11. Cociente de Peligro para efectos no cancerígenos del MeHg con ingesta de pescado de 0,12kg/día.....	72

Listado de figuras

Figura 1. Capturas en toneladas del bagre rayado, rio Nechí, 2016.....	19
Figura 2. Ciclo acuático del mercurio	35
Figura 3. Modelo toxicocinético del mercurio	40
Figura 4. Distribución de los sitios de muestreo.....	59
Figura 5. Intervalos LSD talla y peso	66
Figura 6 Intervalos LSD de la concentración MeHg en músculo y piel	71

Listado de ecuaciones

Ecuación 1. Cociente de Peligro.	61
Ecuación 2. Dosis suministrada	61
Ecuación 3. Modelo de regresión simple para la talla	62
Ecuación 4. Modelo de regresión simple para la talla con los coeficientes.....	66
Ecuación 5. Modelo de regresión simple para el peso con los coeficientes.....	67

Lista de anexos

Anexo A. Certificación publicación capítulo de libro.....	100
Anexo B. Soporte del radicado Secretaria Seccional de Salud de Antioquia....	101
Anexo C. Soporte del radicado Secretaría de Medio Ambiente de Antioquia ...	102
Anexo D. Soporte del radicado Secretaría de Salud de Medellín	103
Anexo E. Soporte del radicado Secretaria de Medio Ambiente de Medellín	104
Anexo F. Soporte oficio enviado Secretaria de Salud de Nechí.....	105
Anexo G. Soporte oficio enviado Alcaldía municipal de Nechí.....	106
Anexo H. Portadas Boletín Informativo	107
Anexo I. Contenido Boletín Informativo.....	108

Resumen

En este estudio se determinó la concentración de metilmercurio en el tejido muscular y piel dorsal de la especie *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) en un área de pesca del río Nechí. Las muestras fueron analizadas por espectroscopia de absorción atómica, luego de la digestión ácida de las mismas. Los niveles promedios total de metilmercurio más altos se observaron en el músculo, con una concentración de $1582,9379 \pm 1093$ $\mu\text{g MeHg/kg}$ de peso fresco, mientras que en la piel fueron de $981,49 \pm 280,3$ $\mu\text{g MeHg/kg}$ de peso fresco. En los dos tejidos las concentraciones más altas se dieron durante el verano sin diferencia significativa. En todos los casos, los niveles promedios encontrados excedieron el valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el consumo humano de pescado ($0,5$ mgHg/kg de peso fresco). La evolución del riesgo fue estimada por el Cociente de Peligro, obteniéndose valores entre $6,7369$ a $67,789$, lo que indica que el consumo de 120 g/día de pescado por parte de una persona, podría estar incrementando hasta un $677,89\%$ el riesgo de afectar su salud por envenenamiento con metilmercurio, esta exposición, podría causar daños neurotoxicogénicos, y el riesgo se hace mayor para los grupos de población vulnerable de la región, especialmente las mujeres gestante y lactantes, quienes pasan el tóxico a través de la placenta y leche materna al feto, los niños y niñas en edad de crecimiento.

Palabras clave: bagre rayado, metilmercurio, biomagnificación, Cociente de Peligro, salud pública

Abstract

In this investigation, the concentration the methylmercury in muscular tissue and dorsal skin of *Pseudoplatystoma fasciatum* (Barred Sorubim) species was determined in a fishing area of the Nechí River. The samples were analyzed by atomic absorption spectroscopy, after the acid digestion of the samples. The average total levels of methylmercury were observed in the muscular tissue with a concentration of $1582,9379 \pm 1093$ $\mu\text{gMeHg/kg}$ fresh weight, whereas in the dorsal skin they were $981,49 \pm 280,3$ $\mu\text{gMeHg/kg}$ fresh weight. In both tissues highest concentrations were identified during the summer time, without significant difference. In all cases, the average levels the methylmercury found, exceeded the value recommended by the World Health Organization (WHO), for the human fish consumption ($0,5\text{mgHg/kg}$ fresh weight). The risk assessment was determined by the hazard quotient, obtaining values between 6,7369 to 67,789; which indicates that the consumption of 120 g/day of fish by a person, could be increasing to 677.89% the risk of affecting his health by methylmercury poisoning, this exposure could cause neurotoxicogenic damage, and the risk becomes greater for the vulnerable population groups in the region, especially pregnant and lactating women, who pass the toxicant through the placenta and breast milk to the fetus, children in the growing age.

Key words: Barred Sorubim, methylmercury, biomagnification, hazard quotient, public health.

Introducción

Desde hace un siglo y medio se viene estudiando y socializando los efectos tóxicos del mercurio sobre la salud humana, casos como la “Acrodinia” o también conocida como “enfermedad rosa”, ocurrida en los niños pequeños durante la primera mitad del siglo XX, causada por la exposición crónica al cloruro de mercurio presente en los polvos y pomadas para dentición (Poulin y Gibb, 2013,1). Los síntomas clínicos de esta enfermedad incluyen: dolor, inflamación y decoloración rosada de los dedos de las manos y pies, debilidad en las extremidades, irritabilidad extrema, hiperestesia y alteración en el nivel de conciencia y también puede producir encefalopatía y polineuropatía (Ecured, 2008.1).

Las enfermedades producidas por las exposiciones crónicas al metilmercurio, son otros efectos que tiene este metal sobre el cuerpo humano, la enfermedad de Minamata, ocurrida en Japón durante los 50, afectó el sistema nervioso central de los pobladores de dicha bahía, con síntomas como: discurso sin sentido, movimientos involuntarios de extremidades, desmayos y ceguera (Yacuzzi, 2008,6.7).

Otros episodios de intoxicación más severos se presentaron durante los 70 en Iraq, generados por el consumo de semillas contaminadas con compuestos mercuriales (metil y etilmercurio) presentes en fungicidas (Waliszewski y Infanzón, 2001,16).

Los casos anteriores, dejan entre ver que las exposiciones a altas concentraciones de metilmercurio representan para el hombre efectos perjudiciales, por ello, muchas instituciones internacionales como: la Agencia de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA), la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), el Comité Mixto FAO/OMS de expertos en Aditivos de Alimentos

y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), se han preocupado por establecer los niveles máximos de consumo de este agente tóxico, al igual que los niveles que no representan riesgo para el organismo (Corredor, 2013,9).

En las últimas décadas las preocupaciones se han centrado en la exposición al metilmercurio que contienen los pescados y al mercurio elemental producto de las actividades industriales y mineras. Por ello, se han establecido los niveles máximos permitidos, los cuales han generado algunos debates sobre los beneficios y riesgos del consumo de pescado y también, han ocasionado confusión acerca de las especies o cantidades de peces que pueden ser consumidos por ciertos grupos poblacionales, es por eso que, dichas organizaciones han creado recomendaciones sobre el consumo de pescado dirigidas a mujeres embarazadas y población infantil. Sin embargo, estas recomendaciones no están generalizadas, son variables entre cada organismo y país e incluso entre comunidades autónomas, esto podría estar excediendo los límites recomendados de ingesta de pescado y poniendo en riesgo la salud y desarrollo de los grupos vulnerables (Conde, Conde y Carreras, 2015,68). En la tabla 1 se indican algunas de esas recomendaciones sobre el consumo de algunos pescados, para las mujeres en edad fértil.

Tabla 1. Recomendaciones sobre el consumo de pescado durante la gestación y lactancia

Entidad u organismo	Recomendaciones para la mujer gestante, lactante o con intención de procrear
FDA	<ul style="list-style-type: none"> • Consumir 2 porciones/semana de una variedad de pescados con niveles bajos de mercurio. • Si se consume atún blanco (Albacora), limitar el consumo a una ración semanal, de las dos señaladas. • Tener cuidado con el consumo de pescado capturado en lagos o ríos del entorno. • Reducir su consumo a una ración semanal
COMISIÓN EUROPEA	<ul style="list-style-type: none"> • Una porción (<100 g/semana) de pescado grande predador: pez espada, tiburón, marlín y lucio. • Si se consume dicha ración no deberá consumirse más pescado en ese periodo. • Tampoco no deberá consumirse atún más de 2 veces por semana
AESAN	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar el consumo de pez espada, tiburón, atún rojo (<i>Thunnus thynnus</i>): especie grande, normalmente consumirla en fresco o congelada y fileteada y lucio
SACN COT	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar el consumo de pescados como tiburón, pez espada o aguja. • Limitar a 1 porción de atún fresco (140g) o dos latas de atún de tamaño mediano (140g peso escurrido) a la semana

Fuente: Conde, Conde y Carreras, 2015,68.

Para el caso de Colombia, son varias las investigaciones que se han realizado sobre la acumulación de Hg en pescado, las cuales se iniciaron en los años 70, luego en la década de los 80 y 90 se promovieron estudios de metales pasados en aguas, sedimentos y luego en peces del río Magdalena, sus afluentes y la región de la Mojana (Mancera y Álvarez, 2006,6). A pesar del amplio historial que tiene la nación sobre la minería aurífera y los vertimientos de mercurio a los ecosistemas hídricos, la

información existente es moderada e insipiente para pescados de otras regiones del país.

Llegar a determinar los niveles de metilmercurio presentes en la especie *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) de la zona de estudio, es un aspecto significativo para el campo de la salud y la alimentación, porque con ello, se podría estar generando un referente para que las autoridades en dichas áreas del conocimiento se preocupen por crear recomendaciones o normas que prevengan a los consumidores del riesgo que podría tener el consumo frecuente de la especie. También, se tendría una mayor noción sobre los factores de riesgo que afecta la calidad de este recurso pesquero, que tiene un gran valor alimenticio y comercial en la región.

El alcance de esta investigación, estuvo definido por la determinación de concentración de metilmercurio presente en el bagre rayado procedente del área de pesca comprendida entre el corregimiento Bijagüal y la zona urbana del municipio de Nechí y los humedales El Sapo y Bijagüal del río Nechí, como factor de riesgo que afecta la calidad de esta especie y la Salud Pública de los habitantes de la zona.

En la búsqueda de este propósito se dieron algunas limitaciones que no permitieron el desarrollo al 100% de la propuesta de investigación, entre las que se pueden resaltar: la falta de presupuesto para el realizar la totalidad del muestreo propuesto, la escasez del material de muestra durante ciertos periodos de tiempo del año y el impedimento para realizar muestreo durante los tiempos de veda de la especie.

La metodología implementada durante el desarrollo de la investigación, se realizó en dos etapas:

Etapa I, trabajo de campo, la cual consistió en la determinación de los sitios de muestreo de los peces, caracterización y toma de las muestras en la zona urbana del municipio de Nechí.

Etapa II, procesamiento y análisis de las muestras, discusión de los resultados y fortalecimiento del conocimiento sobre la contaminación por metilmercurio da especie estudiada: el análisis de las muestras fue realizado en las instalaciones del Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba, en la ciudad de Montería del departamento de Córdoba.

Para la determinación de la concentración de metilmercurio se aplicó el método EPA 7473, detección de mercurio en sólidos por descomposición térmica, amalgamación y espectrofotometría de absorción atómica (US EPA, 2007,1). Esta técnica se ha desarrollado durante los últimos años, es rápida, sencilla, está avalada internacionalmente y se basada en la espectroscopia de absorción atómica por combustión directa (DC-AAS) (Anfaco, 2014,9).

Los resultados obtenidos en esta investigación fueron los siguientes: la concentración de metilmercurio presente en el *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) del área de estudio del río Nechí y la evaluación del Cociente de Peligro del consumo frecuente de esta especie pesquera.

Para el fortalecimiento del conocimiento sobre el grado de contaminación por metilmercurio del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado), de algunos sitios de pesca del río Nechí, se implementaron las siguientes estrategias:

- ✓ Generación de una publicación (capítulo de libro), en la cual se presentó información general sobre la bioecología, taxonomía y distribución geográfica de la especie estudia y aspectos químicos

del mercurio y metilmercurio, ciclo de dichos compuestos en el cuerpo y los efectos sobre la salud.

- ✓ Comunicación de los resultados de esta investigación, a las autoridades en salud regional y municipal, a través de la realización de reuniones con los integrantes de cada entidad, con el propósito de informarlos sobre el grado contaminación por metilmercurio del bagre rayado procedente de algunos sitios de pesca del río Nechí y la entrega de un boletín informativo de difusión de dichos resultados. Para que, generen y promuevan las recomendaciones preventivas que ayuden a concientizar a la población (en especial a los grupos vulnerables), sobre el riesgo químico que puede afectar la salud por el consumo frecuente de bagre rayado.

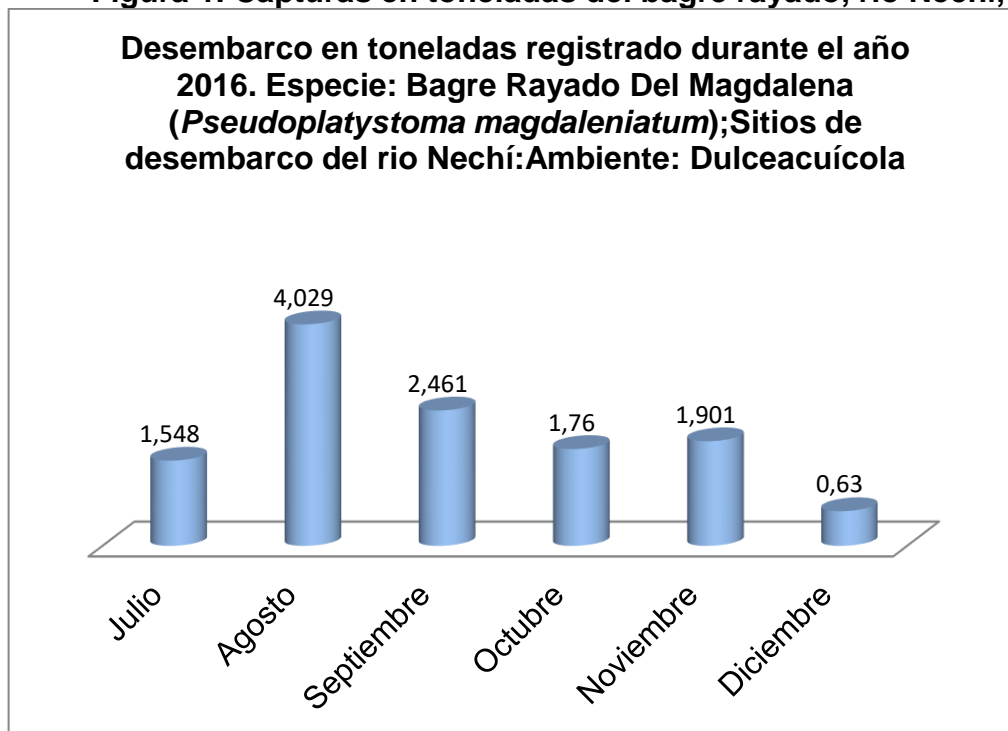
Justificación

Uno de los metales pesados que se mueve con facilidad en todos los medios naturales (en forma de gas y biomasa), es el mercurio, este tóxico puede ser biotransformado a metilmercurio por varias bacterias entre las cuales está la *Methanobacterium amelanskis*. En la cadena alimentaria se bioacumula en todos los peces lo que hace que se bio-magnifique en los niveles más altos de la cadena trófica (Valle y Lucas, 2000,201). Lo que convierte a estas matrices alimentarias en fuente de mercurio para todos los seres vivos en especial para el hombre.

Los efectos beneficiosos del consumo de pescado son bastantes conocidos tanto en niños como en adultos. Sin embargo, se ha referido que la ingesta frecuente de pescado contaminado con altas concentraciones de metilmercurio puede producir toxicidad neurológica en los niños afectando la función cognitiva, la memoria, la función visual-motora y lenguaje (González et. al., 2014, 989).

Según el informe gráfico de capturas desembarcadas del Servicio Estadístico Pesquero Colombiano (SEPEC) del Ministerio de Agricultura, para el 2016 entre los meses de julio a diciembre en los diferentes sitios de pesca del río Nechí se capturaron 12,329 toneladas de bagre rayado, las cuales fueron consumidas en el área de influencia y mercados locales cercanos (Servicio Estadístico Pesquero Colombiano (SEPEC), 2016.15). En la figura 1 se relacionan el total de dichas capturas en ese periodo de tiempo.

Figura 1. Capturas en toneladas del bagre rayado, rio Nechí, 2016



Fuente: (Servicio Estadístico Pesquero Colombiano (SEPEC), 2016,15)

<http://sepec.aunap.gov.co/InformesAvanzados/Index2>, Consulta enero 28 de 2017

Además de las grandes cantidades de bagre rayado producidas en la zona de estudio, los hábitos alimenticios carnívoros por excelencia que tiene esta especie, lo convierte en un depredador activo (Guarnizo, 2007,15). Esto hace que tienda a bioacumular mayores concentraciones del tóxico a lo largo de la cadena trófica, donde el mercurio primero lo absorbe el Plancton, que luego será consumido por los peces, quienes a su vez son el alimento de los peces predadores y así hasta llegar al hombre (Valle y Lucas, 2000, 201).

La toxicidad del mercurio (Hg) en todas sus formas: inorgánicas y orgánicas siempre han sido un motivo de preocupación para el hombre, ya que afecta, de forma directa la salud de las personas vulnerables (mujeres gestantes, niños y niñas en

crecimiento). El metilmercurio es conocido como neurotóxico, siendo el feto más sensible a este que los adultos (National Research Council, 2000,989).

Planteamiento de la pregunta o del problema de investigación

La presencia de mercurio de origen antrópico en los ambientes acuáticos, producto de las actividades mineras, afecta de forma negativa las propiedades de dichos ecosistemas y en especial la calidad de las especies pesqueras, dado que este tóxico tiene un alto potencial de bioacumulación y biomagnificación a través de la cadena trófica. Por ello, para determinar los niveles de concentración de metilmercurio en músculo y piel del *P. fasciatum*, se planteó la siguiente pregunta:

¿Existirá contaminación por metilmercurio en la especie *Pseudoplatystoma fasciatum* capturado en el área de pesca entre el corregimiento Bijagüal y la zona urbana del Municipio de Nechí y los humedales El Sapo y Bijagüal del río Nechí?

Objetivos

Objetivo general

Determinar la contaminación por metilmercurio del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) del área de pesca comprendida entre el corregimiento Bijagüal y la zona urbana del Municipio de Nechí y los humedales El Sapo y Bijagüal del río Nechí, como factor de riesgo que afecta la calidad de esta especie y la Salud Pública de los habitantes de la zona.

Objetivos específicos

1. Determinar el grado de contaminación por metilmercurio en el tejido muscular dorsal, tejido adiposo de la piel dorsal del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) de las estaciones muestreo a través del método EPA 7374 – 2007.
2. Inferir sobre el riesgo del uso de esta matriz alimentaria a través de los hallazgos y su comparación con los límites permitidos acorde con las normas nacionales e internacionales.
3. Fortalecer el conocimiento de la contaminación por metilmercurio del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado), para promover la creación de recomendaciones o lineamientos que informen responsablemente a la población sobre el riesgo de exposición al tóxico.

Marco referencial

Biología del bagre rayado

Características generales

Según datos de literatura, complementados por la revisión de especímenes en colecciones demuestran que 1.435 especies nativas de peces viven en las aguas dulces de Colombia. Estas representan aproximadamente 5% de todas las especies marinas y dulceacuícolas hoy en día reconocidas a nivel global y aproximadamente el 29% de los peces que habitan las aguas continentales desde el límite sur de México hasta Chile y Argentina (Maldonado, Vari y Usma, 2008,143).

Descripción del orden siluriformes

Los siluriformes o bagres ocupan el cuarto orden dentro de los vertebrados y dentro de los ostariophysis, son el grupo de peces más diversificados y ampliamente distribuidos en todo el mundo, con 37 familias, más de 430 géneros y 2.750 especies representan aproximadamente un tercio de todos los peces de agua dulce (Diogo y Peng, 2010,465).

Entre los aspectos clave para la identificación de este orden y su familia Pimelodidea de la cuenca del Magdalena-Cauca, se resaltan los siguientes: cabeza deprimida con proceso occipital que alcanza a unirse con la aleta dorsal, mandíbula superior más larga que la inferior, dientes pequeños, localizados en bandas sobre las

maxilas y en parches sobre el vómer y el palatino. Coloración de cuerpo variable, en la superficie dorsal gris oscuro, superficie ventral blanca y con bandas oscuras transversales (Lasso et. al., 2011,491).

En este orden, la familia de los pimelódidos son la segunda especie en número en Suramérica, pero los más importante comercialmente, ya que, muchos integrantes alcanzan grandes tallas, algunos alrededor de 150 kg aproximadamente (Barbarino, 2005,10). Los bagres son los más representativos y contiene tres especies: *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Pseudoplatystoma tigrinum* y *Pseudoplatystoma curruscans*. Estos son grupos de bagres neotrópicales, ecológicamente es la más rica e importante como recurso pesquero. Los bagres están entre las especies que se cultivan en el mundo y se destacan por la textura y sabor de su carne y el rendimiento de su canal (Guarnizo, 2007,15).

Taxonomía

Según Nelson, (2006,35) y Cala, (1990,730), el bagre rayado silúrido se clasifica de la siguiente forma:

Filo: Chordata

Subfilo: Vertebrata

Serie: Pisces

Superclase: Gnathostomata

Clase: Osteichthyes

Subclase: Actinopterygii

Superorden: Teleostei

Orden:	Siluíformes
Suborden:	Nematognathina
Familia:	Pimelodidae
Subfamilia:	Sorubiminae
Género:	Pseudoplatystoma
Especie:	Pseudoplatystoma fasciatum

Cabe resaltar la importancia, que muchos nombres son compartidos por el bagre rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum*) y por el bagre tigre (*Pseudoplatystoma tigrinum*) (Cortes, 2003,5).

Bioecología del *P. fasciatum*

Se caracteriza por no tener escamas, de cuerpo cilíndrico, alargado y fusiforme. Posee tres pares de barbillones peribucales un par maxilar negro y los mentonianos blancos más largos que su cabeza (Guarnizo, 2007,8). El bagre rayado se distingue de sus congéneres por su proceso occipital largo, que alcanza a unirse con las placas predorsales y por la presencia de una fontanela larga en la región media del cráneo. Su cabeza es grande y deprimida, con ojos pequeños en posición dorsal (Mojica, Usa, Álvarez y Lasso, 2012,57). Son piscívoros y cuando pasan por la etapa larval y juvenil son extremadamente carnívoros (David, 2015, 86). No tienen dientes cortantes, por lo que tienen que tragar sus presas enteras, para esto se valen de la gran capacidad de abertura de su boca (Martinez, 2011,20).

Distribución geográfica

El *P. fasciatum* se encuentra en todas las cuencas hidrográficas de Sur América desde Colombia, Venezuela, Guyana, Surinam y la Guayana Francesa hasta la cuenca de los ríos La Plata y Paraná. En Colombia se reportan 12 de las 14 familias que se encuentran en Sudamérica. Esta especie habita en todas las cuencas, principalmente en el Amazonas y el Orinoco (Guarnizo, 2007,12). En la cuenca del Magdalena-Cauca se reconocen 40 especies para el consumo humano (Lasso et. al., 2011,96), entre las cuales se encuentra el bagre rayado. La talla de pesca para esta especie, en la cuenca del Magdalena ha descendido notoriamente, paso de 92 cm en 1973 a 42 cm en 2010. Situación que es supremamente delicada, si se tiene en cuenta que alcanza su madurez cuando llega a 65 cm y 89 cm de talla para hembra y machos respectivamente (Mojica, Usa, Álvarez y Lasso, 2012,58).

Otros aspectos que hacen que presente un peligro crítico de extinción son los niveles sostenidos de sobre explotación y el deterioro de dicha cuenca. Además, se ha determinado que tiene baja variabilidad genética, debido a que en el ambiente existen muchas barreras geográficas y estas especies son migratorias. Otro aspecto que se debe considerar como factor que incrementa la vulnerabilidad de la especie, es la homogeneidad genética, debido a que la variabilidad genética es fundamental para la adaptabilidad de las especies al medio (David, 2015,87).

Cuenca del río Nechí

Es un río de considerable caudal, el segundo en importancia en la subregión del Bajo Cauca; la atraviesa por el extremo oriental en toda su extensión. En su parte baja recorre los municipios de Zaragoza, El Bagre y Nechí para desembocar en el río Cauca. En sus últimos 100 Km corre sobre un depósito aluvial con un promedio de 10 Km de ancho, limitando al Este por la Serranía de San Lucas y al Oeste por la Cuchilla del Indio. Sus principales afluentes son: quebrada San Pedro en Nechí, río Amacerí, ríos Tigüí y El Bagre en El Bagre y Zaragoza y el río Caserí en Caucasia (Arcila, Vargas y Arias, 2009,32).

Generalidades químicas del mercurio

Identificación y características químicas del mercurio

Es un elemento metálico, de color plateado que permanece en estado líquido a temperatura ambiente, su número atómico es 80 y en el sistema periódico es un elemento de transición. Se solidifica a una presión de 7,640 atmosferas (5.800.000 mm Hg), es resistente a los álcalis. Tiene un punto de fusión de $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$, un punto de ebullición de $357\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una densidad relativa de 13,5 y su masa atómica es de 200,59 (Ramirez, Galvan y Castro, 2004,21). Es relativamente insoluble en agua (56ug/L a 25C), soluble en lípidos, ácidos nítrico y sulfúrico concentrados. Reacciona fuertemente con metales alcalinos, acetileno, amoníaco, cloro, dióxido de cloro, carburo sódico y óxido de etileno. Ataca al cobre y a otros metales (oro, plata, platino, uranio, plomo, sodio y potasio) formando amalgama (Programa Nacional de Riesgos Químicos (PNRQ), 2007,4).

En el mundo la principal fuente de contaminación por mercurio es la minería de oro a pequeña escala. Se estima que las emisiones anuales de mercurio producto de esta actividad son de unas 800-1000 toneladas y que un 50% de ellas proceden de operaciones que se hacen en América Latina. Colombia no se aleja mucho de la realidad mundial, ya que la contaminación por mercurio es originada por el empleo de mercurio metálico en los procesos de beneficio en la actividad aurífera artesanal (Molina, Arango y Serna, 2003,9).

El mercurio existe en tres estados de oxidación (0, +1, +2): el mercurio (0) llamado mercurio elemental o metálico, mercurio (I) históricamente reconocido como

“mercurioso” y mercurio (II) termino histórico “mercúrico”. En sí, toda la población está expuesta a tres formas de mercurio: elemental, inorgánico y orgánico, se debe tener en cuenta que la toxicidad, vías de exposición, evaluación y tratamiento para cada uno es diferente (Guillén, 2015,53).

De estas tres la más tóxica es el metilmercurio (MeHg) en el ambiente acuático (Looi, Aris, Haris, Yusoff y Hashim, 2016,266). El mercurio metálico, si no está encapsulado, a temperatura ambiente, se evapora parcialmente, formando vapores de mercurio. Estos vapores son incoloros e inodoros. Entre más alta sea la temperatura, más vapores emanarán del mercurio metálico líquido. (Programa de naciones Unidas para el Medio Ambiente (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2005,31).

El mercurio es el tóxico ambiental que causa muchos efectos adversos en la salud humana y los ecosistemas naturales. Proviene de fuentes naturales como las erupciones volcánicas o de emisiones antrópicas como combustión de combustible fósiles, las cementeras, la industria cloroalcalina, la producción de elastómeros de poliuretano, la minería y extracción aurífera artesanal y de pequeña escala, en todas estas emisiones, el mercurio se evapora e introduce al ciclo biológico (Guillén, 2015,52).

En la minería el mercurio se usa para separar y extraer el oro de las rocas o piedras en las que se encuentra. Luego se calienta la amalgama para evaporarlo y solo quede el oro (Español, 2012,3).

Compuestos orgánicos

Estos compuestos se forman cuando el mercurio se combina con el carbono, se conocen como compuestos “orgánicos” de mercurio u organomercuriales (PNUMA, 2005,36). La mayoría de las especies de mercurio orgánico se forman por la reacción química de iones Hg^{2+} con carbono orgánico en el agua y sedimentos por procesos microbiológicos o procesos abióticos como la fotólisis de la luz solar, resultando con ello, la bioacumulación y la biomagnificación a través de los ecosistemas terrestres y acuáticos (Kim y Zoh, 2012,338).

La unión del mercurio con el carbono se hace a través de un enlace covalente (comparten electrones), para formar moléculas del tipo R-Hg-X y R-Hg-R', donde R y R' representan los grupos orgánicos (Ferreira, Durán y Pallares, 2010,4). En tabla 2 se reportan las propiedades físicas y químicas del mercurio y algunos de sus compuestos a 20°C – 25°C (Gaffney y Marley, 2014,4).

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del mercurio y alguno de sus compuestos entre 20°C - 25°C

Nombre	Formula molecular	Estructura	Solubilidad molecular	Solubilidad en agua	Constante de Henry-law
Mercurio	Hg	-	200,5g	61µg/L	8.7x10 ⁻³
Cloruro de mercurio (I)	Hg ₂ Cl ₂	Cl-Hg-Hg-Cl	472,09	4.0mg/L	-
Bromuro de mercurio (I)	Hg ₂ Br ₂	Br-Hg-Hg-Br	560,99	22µg/L	-
Ioduro de mercurio (I)	Hg ₂ I ₂	I-Hg-Hg-I	560,99	0.2µg/L	-
Oxalato de mercurio (I)	Hg ₂ C ₂ O ₄	[2Hg] ²⁺ [O ₂ -C-C-O ₂] ²⁻	489,2	3.5mg/L	-
Cloruro de mercurio (II)	HgCl ₂	Cl-Hg-Cl	271,52	73g/L	7.1x10 ⁻¹⁰
Bromuro de mercurio (II)	HgBr ₂	Br-Hg-Br	360,4	6.1g/L	-
Ioduro de mercurio (II)	HgI ₂	I-Hg-I	454,4	0.14µg/L	-
Oxalato de mercurio (II)	HgC ₂ O ₄	[Hg] ⁺² [O ₂ -C-C-O ₂] ⁻²	288,61	0.4g/L	1.4x10 ⁻⁷
Oxido de mercurio(II)	HgO	Hg-O	216,59	53mg/L	7.1x10 ⁻⁷
Cloruro de metilmercurio	CH ₃ HgCl	CH ₃ Hg-Cl	251,1	0.1µg/L	4.7x10 ⁻⁷
Dimetilmercurio	C ₂ H ₆ Hg	CH ₃ -Hg-CH ₃	230,66	1g/L	7.6x10 ⁻³

Fuente: (Gaffney y Marley, 2014,4)

Metilmercurio (MeHg)

Este término se emplea como nombre genérico para describir los compuestos de mono-metilmercurio, en si el metilmercurio no es un compuesto, sino un catión (CH₃Hg⁺), que hace parte de las sales de metilmercurio. Este catión normalmente se

asocia a un simple anión, como el cloro (Cl⁻), o a moléculas más grandes como por ejemplo las proteínas, es la forma más tóxica de mercurio, capaz de inhibir el desarrollo cerebral del feto y provocar cambio en las capacidades cognitivas y motriz (Grenfacts, 2017,3)

Esta forma de mercurio es la de mayor responsabilidad en la contaminación de los peces, mariscos, aves y mamíferos que lo consumen (Weinberg, 2010,17). El metilmercurio se une fuertemente a las proteínas en los tejidos de estos organismos, la cocción no reduce significativamente su presencia. Este agente tóxico puede causar daños en la etapa fetal tanto en el hombre como en los animales, los cuales se caracterizan por: una hipoplasia (decrecimiento celular) y microcefalia, en estas afecciones el peso del cerebro se puede llegar a reducir a la mitad o dos tercios de lo normal, alteración en la migración celular que resulta en una displasia y alteraciones de la cito-arquitectura del cerebro (gliosis) (Caballero, 2010,2)

El MeHg se acumula tanto en la corteza cerebral como en el cerebelo, donde se enlaza fuertemente con los grupos sulfhídricos de las proteínas. Presenta una alta capacidad de atravesar la barrera placentaria, donde su velocidad de transporte puede llegar a ser hasta 10 veces mayor que el mercurio inorgánico. Por ello las concentraciones del tóxico suelen ser iguales o mayores en el feto que en la madre. Una vez en el feto, penetra la barrera hematoencefálica, llega al sistema nervioso central donde realiza gran parte de su toxicidad (Argumedo, Consuegra, Marrugo y Vidal, 2013,906).

Biotransformación, bioacumulación y biomagnificación del mercurio

La biotransformación se inicia una vez el Hg se ha depositado en el agua, donde es transformado en metilmercurio por la acción de determinadas bacterias sulfato reductoras y se bioacumula en los organismos acuáticos, incorporándose así a la cadena trófica. Entre tanto, la biomagnificación es el proceso de aumento de acumulación MeHg, a medida que aumenta el nivel trófico en la cadena alimentaria (Guillén, 2015,54). La bioacumulación consiste en la capacidad que tienen los organismos de acumular selectivamente contaminantes en sus tejidos, en relación a las concentraciones existentes en el medio que habitan (Diaz et. al., 2001,15)

En el proceso de biotransformación, la síntesis de los compuestos de metilmercurio (CH_3Hg^+ y $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$), la metilación del mercurio inorgánico, implica la metilación no enzimática de Hg^{+2} por compuestos de metil-cobalamina (análogos de la vitamina B12), estos son producidos como resultado de la síntesis bacteriana y una vez el metilmercurio sale del microorganismo, entra a la cadena alimentaria por difusión rápida y unión fuerte a las proteínas de la biota acuática (World Health Organization (WHO), 1990,30).

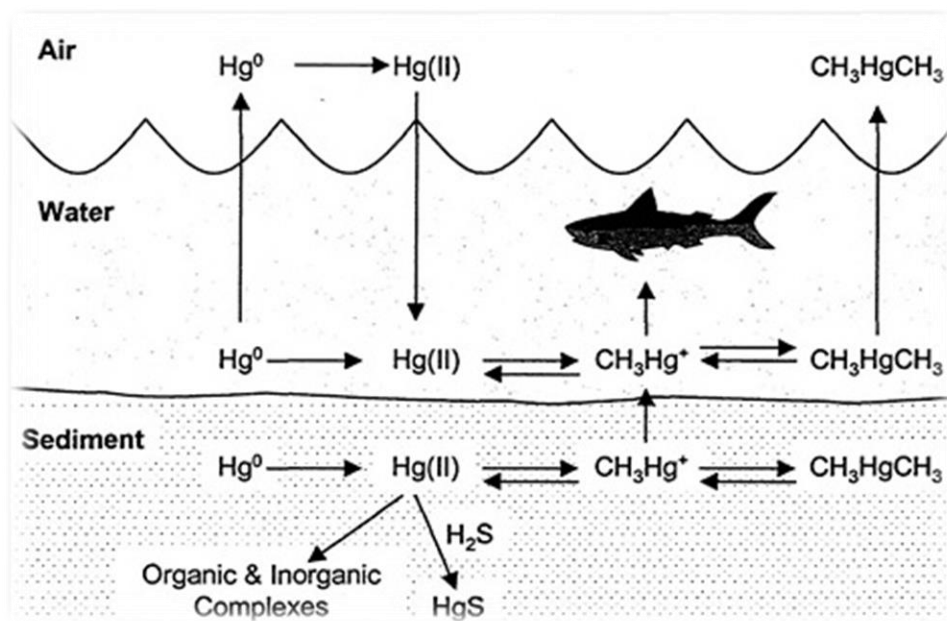
Los niveles más altos de biomagnificación del metilmercurio, se presentan en los peces carnívoros de gran tamaño tanto en agua dulce como en agua salada. Estos constituyen un 75% del mercurio total de los peces marinos y cerca del 90% para los peces de agua dulce (Castro, 2011,5). La bioacumulación y biomagnificación del mercurio en la biota marina son procesos activos que dependen mucho de las características químicas, factores ambientales (salinidad y temperatura), concentración de grasa, metabolismo y biodisponibilidad (entrada y salida del contaminantes) (Bouchentouf y Aïnad, 2014,8).

Una de las rutas importantes de bioacumulación de metilmercurio en alimentos, es la que ocurre en los peces, en consecuencia, estimaciones precisas de este fenómeno, son importante para generar modelos de bioacumulación que pueden ser utilizados para determinar la concentración de MeHg que puede alcanzar ciertos órganos blanco en un organismo (McCloskey, Schultz y Newman, 1998,1524).

Ciclo del mercurio en el ambiente acuático

Cuando el mercurio se encuentra en el medio ambiente, puede ocurrir la conversión y reconversión entre las diferentes formas, el Hg unido a las partículas, es convertido en sulfuro de mercurio (HgS), el cual es insoluble y se precipita en el sedimento, o puede ser bio-convertido en formas más solubles o volátiles que pueden entrar de nuevo a la atmosfera o se bioacumula en la cadena alimentaria acuática o terrestre. En la figura 2 se muestra el ciclo del mercurio y alguno de sus compuestos en los sistemas acuáticos (National Research Council, 2000,16,17).

Figura 2. Ciclo acuático del mercurio



Fuente: Toxicological Effects of Methylmercury, 2000,17 Disponible en <http://www.nap.edu/catalog/9899.html>.

Cinética y metabolismo del metilmercurio

Absorción y transporte

El mercurio es absorbido por tres vías: la gastrointestinal, la respiratoria y la dérmica, las formas de mercurio que entran al cuerpo vía gastrointestinal son Hg metálico, Hg^+ y las orgánicas. La tasa de absorción del mercurio metálico por la vía gastrointestinal es muy baja (0,01%), por lo que presenta efectos tóxicos inexistentes. En dicha vía, la segunda forma de mercurio (Hg^+), presenta una tasa mayor de absorción, la cual, puede ser hasta el 15% y las orgánicas hasta del 80%, por lo que se consideran potencialmente tóxicas (Doadrio, 2004,947).

Al contrario del mercurio inorgánico, la absorción del metilmercurio en los seres humanos, es más completa en el estómago e intestinos. Una vez absorbido, el metilmercurio se transporta por el torrente sanguíneo al cerebro de un adulto, de un niño o de un feto en desarrollo donde se va acumulando y se convierte lentamente en inorgánico (Weinberg, 2010,17).

Cuando una persona consume alimentos contaminados por MeHg, este es separado en el estómago por la acción de los ácidos gástricos, luego pasa al duodeno, donde se combina con la cisteína y es absorbido (Hong, Kim y Lee, 2012,355). Pasada la ingesta, se inicia la absorción la cual es rápida, observándose picos en plasma dentro de las primeras 6 horas (Vásquez, 2014,15). Luego de ello, es transportado a la sangre para ser distribuido a los diferentes órganos, proceso que toma de 30 a 40 horas (Corredor, 2013,16).

Según la WHO, (1990,42), los estudios que se han realizados con animales, indicaron que la edad no tiene ningún efecto sobre la eficiencia de la absorción gastrointestinal en el torrente sanguíneo, la cual por lo general supera el 90% de la dosis de ingesta oral.

Una vez el metilmercurio está en el cuerpo, puede ser transportado a diferentes órganos como el cerebro, riñón, hígado, placenta, intestinos y eritrocitos, la mayoría de los estudios centran su atención en los mecanismos de transporte que tiene el Hg^+ y el CH_3Hg^+ en órganos como el cerebro y el riñón y poco se sabe, sobre su transporte en otros órganos como la placenta y las membranas plasmáticas (Bridges y Zalups, 2010, 394-398). En un estudio realizado por Björnberg et. al., (2005,1381), con mujeres gestantes y lactantes de Suecia, sobre el transporte de metilmercurio y mercurio inorgánico en el feto y bebés alimentados con leche materna, los investigadores concluyeron que la exposición a estas dos formas de mercurio es mayor antes del nacimiento que durante el período de lactancia y que el MeHg parece contribuir más a la exposición infantil después de la lactancia, más que el Hg inorgánico.

Distribución del metilmercurio en el cuerpo humano

El MeHg se distribuye ampliamente en el torrente sanguíneo y los tejidos. Su distribución completa se da a los 4 días aproximadamente en el cuerpo humano, siendo el cerebro el que alcanza los niveles máximos en menor tiempo de 1 a 2 días. La relación entre las concentraciones cerebrales y sanguíneas pueden llegar a ser 6 veces mayores en el cerebro que en la sangre (WHO, 1990,42). Su gran afinidad por el grupo sulfhídrico (-SH) de las proteínas, hace que se combine con un tripéptido no proteico conformado por los aminoácidos: cisteína, glutamato y glicina (GSH), formando

un compuesto metilmercurio-GSH y se distribuya a los diversos tejidos y órganos a través los vasos sanguíneos (Hong, Kim y Lee, 2012,355).

La alta movilidad que tiene el metilmercurio en el cuerpo no se debe a su solubilidad lipídica, como lo indican algunas referencias, sino principalmente a la formación de complejos hidrosolubles ligados al azufre de los grupos tiol (Clarkson, 2002,13). Por otro lado, en restos óseos se han encontrado altas concentraciones de Hg distribuidas en los tejidos trabeculares y región abdominal (Skytte, Lauritsen, Boldsen y Thomsen, 2013, 5,6).

Metabolismo del metilmercurio

El metabolismo de los metales pesados se lleva a cabo en el hígado, donde se enlazan con las metalotioneínas (MT) que son proteínas de bajo peso molecular (< 10 kD). Estas presentan una amplia distribución en todo el cuerpo y poseen en su estructura un gran contenido de cisteína, que le da una elevada afinidad para reaccionar con estos metales entre ellos el mercurio (Sabath y Robles, 2012,280). Las formas orgánicas de mercurio tienen un metabolismo intracelular, entre tanto, las inorgánicas se disuelven fácilmente en el plasma, en especial el Hg^{2+} (Doadrio, 2004,948).

La conversión del MeHg en Hg^{2+} , puede ser la llave de entrada al proceso de excreción. Después de exposición al metilmercurio, la vía fecal representa un 90% de la eliminación del mercurio total en el hombre y otros mamíferos (WHO, 1990,46).

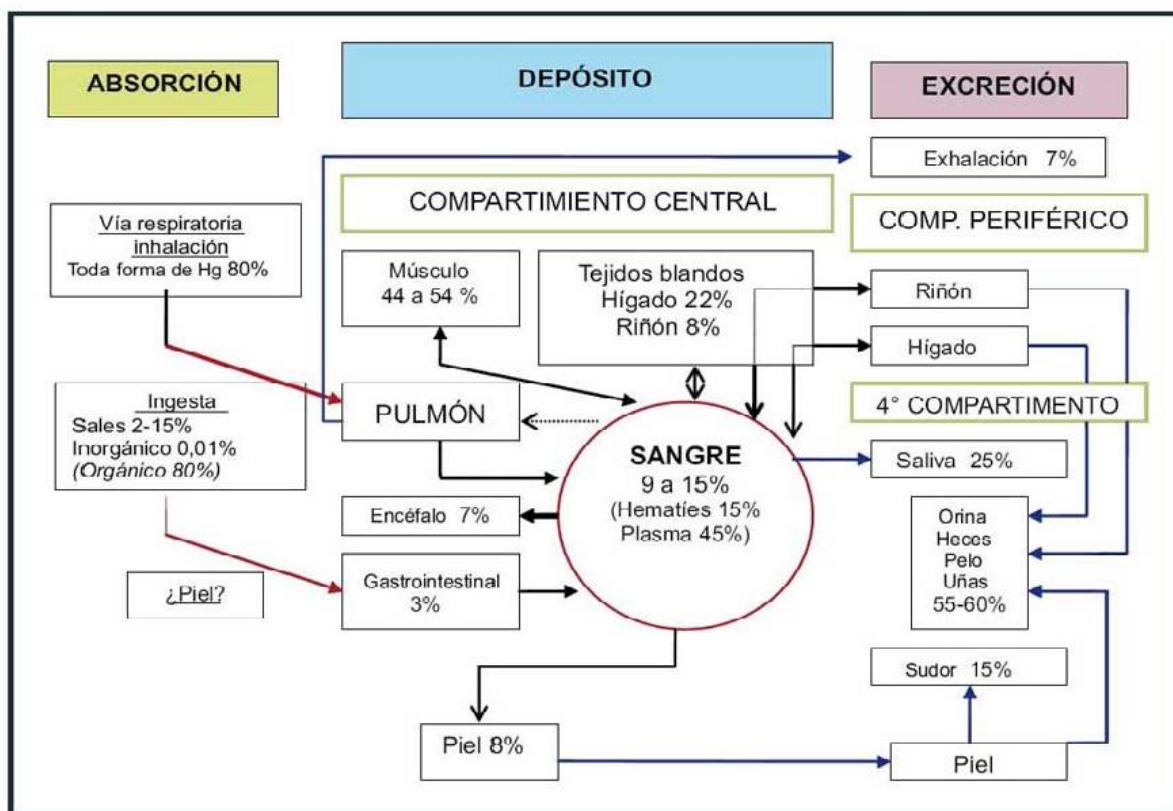
Excreción del metilmercurio

Este tóxico es removido del cuerpo principalmente por la bilis y las heces, donde se elimina aproximadamente un 90%, pero también es excretado en la orina, sudor, leche materna y es almacenado en el pelo y las uñas. Se han hecho diversos estudios, para estimar la vida media del mercurio orgánico en los humanos y los resultados obtenidos han indicado que esta entre 44 y los 80 días (Raimann, Rodríguez, Chávez y Torrejón, 2014,1175). La cual para el metilmercurio es de 70 días en promedio (Hong, Kim y Lee, 2012,355).

Desde el punto de vista toxicocinético, los procesos que experimenta el mercurio desde su ingreso en el organismo hasta su eliminación dependen de la forma química en la que se encuentre, de la dosis, de factores propios del individuo (edad, sexo, masa corporal, estado nutricional y enfermedades preexistentes, entre otros) y de los componentes de la dieta (Vásquez, 2014,15).

El modelo toxicocinético de eliminación del mercurio, tiene tres tipos de comportamiento: central, el periférico y el “cuarto comportamiento”. El comportamiento central está conformado por todos los órganos excepto el hígado y riñón, el periférico lo constituyen los dos órganos antes indicados y el “cuarto comportamiento” es el depósito *per se*, o punto final antes de su excreción integrado por la orina, las heces, la uñas y el pelo (Ramírez, 2008, 47). En la figura 3, se representa este modelo.

Figura 3. Modelo toxicocinético del mercurio



Fuente: Ramírez, (2008,47).

Efectos del metilmercurio sobre la salud

Los efectos que tiene el metilmercurio sobre la salud son tóxicos, estos se han estudiado en diferentes partes del mundo, desde las intoxicaciones de Minamata e Iraq, pasando por los grandes estudios epidemiológicos en Nueva Zelanda, las islas Féroe y las islas Seychelles, los cuales, establecieron recomendaciones internacionales para el consumo de pescado y mariscos en las mujeres embarazadas y niños pequeños (González, et. al., 2014,1989-1995). Estos estudios confirmaron que la exposición, incluso a niveles bajos de metilmercurio, originan también alteraciones en el sistema nervioso que afectan a los procesos del desarrollo feto/infantil (memoria, atención, aprendizaje...) (Llorente, et. al., 2011,300).

Dentro de los efectos nocivos que tiene el metilmercurio para salud, que se han estudiado, se pueden resaltar los siguientes: neurotoxicidad, inmunotoxicidad, reproductivos, cancerígenos, cardiovasculares entre otros.

Neurotoxicidad del metilmercurio

La mayoría de estos efectos están asociados al Sistema Nervioso Central (SNC), luego de un período latente o silencioso de varias semanas o meses aparecen los síntomas, el primero de ellos, es la parestesia en las extremidades evidenciándose después signos más serios como la ataxia y disartria. Para el caso de intoxicaciones severas o moderadas se manifiesta por la pérdida del campo visual y auditivo (Repetto y Camean, 1995,380).

Desde el punto de vista neurotóxico, el MeHg es un conocido teratógeno, el cual influye sobre la migración neuronal, la organización de los núcleos del cerebro y la

estratificación de las neuronas corticales, cuando está en el cerebro del feto (Raimann et. al., 2014,1175).

Entre las revisiones de información que se han realizado sobre los efectos neurotóxicos del metilmercurio se destaca la realizada por Gilbert y Grant, (1995,135), en dicha revisión los autores indican que los altos niveles de exposición prenatal al metilmercurio, en los seres humanos dan lugar a efectos neuroconductuales, tales como parálisis cerebral y retraso mental grave. También señalan que, esas exposiciones en las comunidades con exposición crónica de bajo nivel, están relacionadas con la disminución de peso al nacer y la disfunción sensoriomotriz temprana como el retraso al inicio de la marcha. Es por ello, que se recomienda que las mujeres en edad fértil y mujeres embarazadas deban limitar su exposición a las fuentes potenciales de metilmercurio.

En otra revisión realizada por Myers y Davidson, (1998,842) indica que, en los adultos, la neurotoxicidad del metilmercurio incluye destrucción neuronal, con efectos inicialmente predominantemente en la corteza occipital y cerebelo. Por otro parte, Farina, Rocha y Aschner, (2012, 1-10), en su breve revisión sobre los mecanismos de neurotoxicidad inducida por MeHg, señalan que aún no se ha desenmascarado la cara oculta de estos mecanismos, pero que los estudios *in vitro* con cultivos de células, mitocondrias aisladas y tejidos, así mismo las investigaciones *in vivo* usando roedores principalmente, han indicado que hay deterioro en la homeostasis intracelular del calcio, alteraciones en la homeostasis del tripéptido no proteicos (GSH) y estrés oxidativo como resultados importantes de la neurotoxicidad inducida por MeHg.

Entre los estudios que se han hecho para estimar los efectos nocivos que tiene la exposición al Hg sobre el sistema neurológico, relacionados con el consumo de

pescado, se destaca el realizado por Yokoo et. al., (2003,4), con hombres y mujeres de la ciudad de Cuiaba, Brasil, en este estudio los autores asociaron los niveles promedio de Hg en cabello ($4,2\pm 2,4$ $\mu\text{gHg/g}$) con alteraciones detectable en el rendimiento en pruebas de velocidad, destreza motora fina y concentración. Por otro lado, una investigación realizada con niños de la zona de Tarragona Cataluña (España), por Torrente, Colomina y Domingo, (2005,215), que buscaba establecer la posible relación entre los niveles de varios metales en el cabello y las funciones cognitivas, los investigadores observaron una correlación positiva entre las concentraciones de Hg en el pelo y capacidad visual especial de los niños.

Por su parte, en la investigación de Cheuk y Wong, (2006,240), realizada con niños en China y Hong Kong, los investigadores estudiaron los efectos que tienen los altos niveles de Hg arterial con los síntomas del trastorno de hiperactividad con déficit de atención (TDAH) y encontraron que el TDAH en los niños está posiblemente asociado con dicho niveles de mercurio en la sangre ($19,4\text{nmol/L}$), e indicaron que se requieren más estudios para determinar si la exposición al mercurio y los niveles elevados de mercurio en la sangre son etiológicamente relacionado con la aparición y persistencia de TDAH en los niños.

No obstante, en otro estudio de Ha et. al., (2009,31), realizado con 1.778 niños de 7 a 10 años en Corea, los investigadores examinaron la asociación entre los niveles bajos de plomo y mercurio en la sangre y los síntomas del TDAH, encontraron que para una concentración media de mercurio en la sangre ($2,4$ mg/L), no hay correlación significativa con los síntomas del TDAH en los niños.

Inmunotoxicidad del metilmercurio

Uno de los sistemas que puede ser sensible al Hg es el inmunológico. Aunque no hay datos sobre el efecto de MeHg sobre la función inmunológica en humanos. Estudios ocupacionales han indicado que los compuestos de mercurio pueden afectar el sistema inmunológico. Los estudios con animales han demostrado que los efectos sobre las proporciones de células inmunes, la respuesta celular, el desarrollo del sistema inmunológico y los efectos autoinmunes están asociada con la exposición a Hg elemental (National Research Council, 2000,156). Se ha demostrado también que en crías de ratones genéticamente sensibles al Hg y MeHg, puede ocurrir el efecto inmunosupresor (Li, Feng y Qiu, 2010,2670).

Desde hace años se sabe que el Hg afecta probablemente algunas funciones del sistema inmune a través de los efectos deletéreos sobre los leucocitos polimorfo-nucleares (PMNs). Uno de estos efectos es la supresión de la producción de adrenocorticosteroides, la cual, previene la estimulación normal de la producción de PMNs, afectando también su función al inhibir su capacidad de destruir sustancias extrañas (Rice et. al., 2014,77).

El mercurio al igual que otros agentes inmunotóxicos, puede tener efecto selectivo sobre las células diana (linfocitos B, linfocitos T, macrófagos). El aumento de la mortalidad frente a células infecciosas y la alteración morfológica de órganos linfoides (el timo y el bazo) son algunas acciones sistémicas inmunosupresoras que se han observado en animales expuestos a dos formas de mercurio (orgánicas e inorgánica). Además, parece ser que también afecta la respuesta inmune humoral y celular (Cámara et. al., 2003,34).

Efectos cardiovasculares

Se han realizado numerosos estudios sobre los efectos del consumo de pescado con los riesgos de enfermedades cardiovasculares y existen fuertes indicios que producen efectos protectores, los cuales pueden deberse a los diferentes componentes nutricionales beneficiosos que tiene los peces: omega-3, ácidos grasos libres, el selenio. Sin embargo, los pescados que contienen altas concentraciones de MeHg, se han asociado a efectos cardiovasculares adversos. El Hg se acumula en el corazón, y las exposiciones a las formas orgánicas e inorgánicas se han asociado a las alteraciones de presión sanguínea y función cardíaca (National Research Council, 2000,168).

Rice et al., (2014,77), en su reseña señala que existe una buena evidencia que asocia la exposición al mercurio con algunos tipos de anemia como la hemolítica y la aplasia, ya que se cree que el Hg compite con el hierro al unirse con la hemoglobina lo que disminuye la función de la misma.

Entre las investigaciones que se han realizado con el propósito de valorar los efectos para la salud que puede tener la exposición al mercurio sobre el sistema cardíaco, se destaca la realizada por Yoshizawa et. al., (2002,1757), hecha con 51.529 hombres profesionales de área de la salud, en esta investigación no se encontraron diferencias significativas que asociaran los niveles de mercurio con el riesgo de padecer alguna afección cardiovascular.

En otra investigación realizada por Mozaffarian et. al., (2011,1116), no se encontraron pruebas de efectos adversos clínicamente relevantes de la exposición al mercurio sobre enfermedades coronarias, accidente cerebrovascular, o enfermedad cardiovascular en un total de 3427 adultos estudiados de Estados Unidos. Resultados parecidos a los obtenidos por Sternhagen, Davidsen y Bjerregaard, (2012,44), en una

investigación realizada en Groenlandia, en la cual se concluye que no se encontraron asociaciones adversas entre la concentración total de mercurio en la sangre y la presión arterial. Además, se encontró que el aumento de las concentraciones totales de mercurio en sangre, la presión arterial diastólica y el riesgo de hipertensión disminuyó entre los hombres del estudio.

Por otro lado, en un trabajo de revisión, hecho por Fernández, et. al., (2012,6), se resaltó la investigación realizada por Halbach y colaboradores, quienes en dicha revisión, mostraron que las concentraciones de mercurio en el cabello hasta 150 mg/g y las concentraciones sanguíneas por encima de los valores referencia, presentaron correlaciones positivas, en el aumento de la presión arterial en las poblaciones estudiadas de 40 ciudades de la cuenca del Amazonas, y la exposición al mercurio en esas poblaciones, estaba asociada al consumo frecuente de pescado.

Fernández, et al., (2012,6), señalaron que los niveles de mercurio son promotores de la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL), y que es frecuente encontrar en las lesiones arterioescleróticas partículas de LDL oxidadas, las cuales están asociadas con el desarrollo de la enfermedad arteriosclerótica y la insuficiencia coronaria aguda. Esta reseña también indica que, el mecanismo por el cual el mercurio produce efectos tóxicos sobre el sistema cardiovascular, aún no está completamente dilucidado.

Efectos carcinogénicos

En cuanto a estos efectos el National Research Council, (2000,149), señala que no hay estudios epidemiológicos que relacionen la exposición al metilmercurio con la prevalencia de procesos cancerígenos. Indican que se tienen reportes de dos investigaciones poco fiables, donde se encontró una asociación entre las exposiciones al Hg y la leucemia aguda. Entre tanto, algunos estudios en animales, evidenciaron el aumento de tumores renales cuando se expusieron, a dosis que eran tóxicas para los riñones. Lo que hace pensar que los efectos carcinogénicos son secundarios. Señalan también que, en relación a la información disponible, la Agencia de Investigación del Cáncer (IARC) y la Agencia de Protección al Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos de América han clasificado al metilmercurio como un “posible” carcinógeno humano.

Por otro lado, en la revisión de Hong, Kim y Lee, (2012,357), se destaca una investigación realizada en Suecia con los trabajadores de una planta de cloro-álcali, los cuales tenían un riesgo mayor de obtener cáncer de pulmón, cerebro y de riñón, pero la significación estadística de este estudio no fue observada.

Efectos sobre el sistema reproductivo

Las exposiciones ocupacionales y paternas al mercurio metálico, no parecen causar malformación o infertilidad en los hombres. Sin embargo, se tiene reportes de abortos espontáneos en mujeres de hombres que se han expuesto a niveles de mercurio por encima de 50µg/l (National, Research Council (US) Committee, 2000,161).

Entre los estudios recientes hechos con humanos, para estimar los efectos perjudiciales que tiene el mercurio sobre la reproducción, se destaca el realizado por Mocevic et. al., (2013,98), en Groenlandia, Polonia y Ucrania. En esta investigación se encontró una asociación significativa positiva, entre los niveles de concentración de mercurio en la sangre y el suero de la inhibina B en los hombres de Groenlandia, lo cual, pudo ser debido a los efectos beneficiosos de los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) contenidos en los pescados y mariscos.

En dicha investigación no se encontró, asociación significativa entre las concentraciones de mercurio en la sangre y las características de medición del semen (volumen de semen, el recuento total de espermatozoides, la concentración de espermatozoides, la morfología y motilidad) y las hormonas reproductivas (índice de andrógenos libres (FAI), Hormona Folículo Estimulante FSH), hormona luteinizante (LH), testosterona y $LH \times \text{testosterona}$) en esas regiones. Finalmente, los investigadores concluyen que los resultados no proporcionan evidencia sobre la exposición al mercurio ambiental en los hombres de Groenlandia y Europa y una concentración total promedio en sangre de hasta 10 ng/ml, puede tener efectos adversos sobre los biomarcadores de la salud reproductiva masculina.

Efectos genotóxicos

La evidencia que la exposición humana al mercurio causa daños genéticos, es poco concluyente (National, Research Council (US) Committee, 2000, 155). Este comité resalta que, entre las investigaciones que se han hecho, algunas relacionan las aberraciones cromosómicas, aumento significativo del porcentaje de micronúcleos, aberraciones cromosómicas en linfocitos y correlación positiva entre la incidencia de

micronúcleos en linfocitos periféricos con la concentración sanguínea de Hg. Pero todos estos estudios son poco fiables, ya que algunos no controlaron algunos factores influyentes como la poca población estudiada, el tabaquismo, la presencia de otros metales pesados, entre otros.

Según Crespo et. al., (2009,214), desde los 90, los estudios epidemiológicos han empezado a incluir un mayor número de personas, lo que hace que los resultados sean más confiables. Por ello, se ha demostrado aumento en la genotoxicidad en poblaciones humanas expuestas al Hg, a través de la dieta, la ocupación o llevando obturaciones dentales. De hecho, las concentraciones de metilmercurio que causan alteraciones genotóxicas significativas *in vitro*, por debajo de la concentración límite de seguridad, se asociaron con los retrasos en el desarrollo psicomotor con mínimos signos de envenenamiento por metilmercurio.

Efectos renales

La Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), (1999,113-117) de los Estados Unidos, en una reseña sobre la toxicología del metilmercurio, resaltó los efectos renales el mercurio inorgánico y orgánico y destacó, que son poco los estudios de casos sobre los efectos renales del metilmercurio.

Por otro lado, el National, Research Council (US) Committee, (2000,165), informa que el riñón es sensible al mercurio metálico, luego de una exposición por inhalación, quizás por su acumulación en dicho órgano. Las altas exposiciones han dado como resultado, proteinurias leves, transitorias y macroscópicas, hematurias y oligurias. Las exposiciones a las formas orgánicas de Hg, en todos los casos estudiados, se confirmó daño renal después de dicha exposición

Por otro lado, un estudio realizado por Tandon y Magos, (1980,131), el cual, evaluó el efecto del daño renal sobre la movilización del mercurio por agentes tiol-complejantes, indicó que la relación entre las concentraciones de mercurio renal y dichos agentes, tienen el mismo efecto sobre la movilidad del Hg en el riñón, este dañado o no.

Sin embargo, Zahir, Rizwi, Haq y Khan, (2005,5), en su trabajo de investigación, indicaron que los riñones acumulan niveles más altos de mercurio en comparación con el cerebro y el hígado. Se ha documentado muy bien la toxicidad renal del cloruro mercúrico y se asocia al aumento de la disfunción renal, con el aumento en el nivel de ceratinina plasmática tras la intoxicación con metilmercurio en dosis de 5 ppm durante 2 años.

Otros efectos del mercurio sobre la salud

Otros órganos del cuerpo que se ven afectados por las exposiciones al Hg, son las glándulas. En una revisión sobre los efectos del mercurio sobre el sistema endocrino Zhu, Kusaka, Sato y Zhang, (2000,174), señalaron que los estudios hechos con animales, suministran pruebas suficientes que demuestran los efectos disruptivos que tiene las diferentes formas de mercurio, sobre la función de algunas glándulas como la tiroides, suprarrenales, el ovario y testículos. Según estos investigadores, se han realizado algunos estudios en humanos que han proporcionado datos no concluyentes. que permitan demostrar los hallazgos de los estudios hechos con animales.

Por otra parte, en la revisión de Minoia, Ronchi, Pigatto y Guzzi, (2009,627), también señalaron la acción del disruptor que tiene el mercurio sobre las glándulas, el cual imita efecto estrógeno sin acción directa sobre las hormonas.

Presencia del metilmercurio en peces

En los cuerpos de agua, los peces son los organismos indicadores de contaminación por metales pesados (entre ellos el mercurio), ya que estos representan varios niveles de la cadena alimenticia acuática, y lo pueden bioacumular y biomagnificar en altas concentraciones (Mancera y Álvarez, 2006,5). La interacción del mercurio con el ecosistema depende de la forma y especie química en la que se encuentre, además de otros factores como el pH, las condiciones de óxido-reducción del agua, la presencia de sustancias orgánicas con capacidad de formar complejos químicos y diversos factores climáticos que potencian el estrés químico (Posada y Arroyave, 2006,58). El contenido de MeHg se hace variable entre las especies de peces, siendo las especies predadoras de agua dulce las que contienen una de las más altas concentraciones de esta forma de mercurio (Díez et al., 2008,162).

En muchos países se han realizado algunas investigaciones sobre la concentración de metilmercurio en peces marinos y de agua dulce. Como el estudio de algunos peces del río Ganges en la región de Bengala Occidental, India, donde se encontró que los resultados de los análisis de mercurio en varios especímenes indicaron que algunos músculos de pescado tienden a acumular grandes niveles de Hg, y aproximadamente el 50-84% del mercurio era orgánico. Se evidenció una fuerte correlación positiva entre los niveles de mercurio en el músculo con los hábitos alimenticio y longitud del pez, siendo la especie *Wallago attu* la que presentó mayor concentración de mercurio orgánico ($0,93 \pm 0,61$ mg Hg/g de peso húmedo) en el tejido muscular (Pal, Ghosh, Mukhopadhyay y Ghosh, 2012,3410).

Entre tanto, en la región del río Shonghua, China los estudios realizados indican que la concentración del metilmercurio disminuyó en los peces de ese río, después de 30 años que fueran eliminadas las emisiones de mercurio en aguas residuales (Zhu, Yan, Cao y Wang, 2012,77).

Ya para el caso de Brasil, en un estudio hecho con peces marinos tropicales, se encontraron diferencias significativas de metilmercurio en todos los organismos (Seixas, Moreira, Siciliano, Malm y Kehrig, 2014,276).

Otros estudios de revisiones sistemáticas sobre el tema, concluyen que hay una sentida necesidad de políticas para reducir la exposición al Hg en mujeres, niños y para la vigilancia en las poblaciones de alto riesgo, la mayoría de los cuales viven en países de bajos y medianos ingresos (Sheehan, et. al., 2014,261).

Para Colombia, entre las investigaciones que se han realizado con peces nacionales se destaca una investigación realizada por (Álvarez, et al., 2012,67), con seis especies de peces (entre ellas *el P. magdaleniatum*) de los ríos la Miel y Nechí. Los investigadores, indicaron que hubo diferencias significativas en los niveles de metilmercurio en los peces capturados en el río Nechí, las cuales, son consistentes debido al afianzamiento de la actividad extracción de oro a las orillas de dicho río.

La investigación realizada por Manzur, Suarez y Moneriz, (2006,182), destacaron los estudios realizados por Olivero en la Costa Atlántica, quien señaló, que hay una alta contaminación de mercurio en las aguas del río Magdalena y Cauca, enfatizando que en la ciénaga Grande de Achí, en el sur de Bolívar, las especies mojarra amarilla, moncholo y doncella, superaron las concentraciones de Hg, según los límites máximos internacionales aceptados para especies de consumo humano (0.5mg Hg/g).

Los estudios realizados con peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, encontraron diferencias estadísticas significativas en los resultados de mercurio total, en especies carnívoras y no carnívoras, entre las cuales se encuentran el *P. fasciatum* (Marrugo, et al., 2007,882).

Los resultados de una investigación realizada por Marrugo, Olivero, Lans y Benitez, (2008,24), en la región de la Mojana, también indicaron que hubo unas altas concentraciones de mercurio total en los peces carnívoros, y no carnívoros pescados en dicha región, los cuales constituyen un alto riesgo para la salud de las personas.

Aunque los peces son la principal fuente de mercurio en la dieta humana, en algunas referencias se reporta su presencia en otras matrices alimentarias como el arroz, carne, leche y otras fuentes animales (León y Peñuela, 2011,112).

Panorama normativo nacional e internacional sobre la presencia de mercurio en alimentos

La presencia del MeHg en los alimentos, especialmente en peces, ha llamado la atención de muchas entidades y países en el mundo, como es el caso del Comité del Codex sobre Aditivos y Contaminantes de los Alimentos, quienes en un documento sobre los niveles de referencia para el metilmercurio en pescado, relacionan los diferentes estudios que se han hecho en países sobre presencia de mercurio en peces marinos (Comité del Codex sobre Aditivos y Contaminantes de Alimentos, 2005, 3-5). En la tabla 3, se resumen los datos reportados.

Tabla 3. Datos sobre la presencia de mercurio en pescados de algunos países

Peces	Concentración de mercurio (mg/kg) por país					
	Estados Unidos	Canadá	Unión Europea	España	Reino Unido	Japón
Atún rojo/atún común/cimarrón	0,35	--	--	---	---	
Atún fresco congelado	0,38	0,93	1,1 – 1,7	---	0,4	
Atún en conserva	0,51	0,10	1,1 – 1,7	---	0,19	
Atún blanco/albacora /bonito del norte	0,35	--	---	---	---	0,97
Bacalao	--	0,36	--	--	---	
Carité lucio	0,73	--	--	--	---	
Fletan	--	--	--	---	0,29	
Escarla negro	--	0,63	--	---	---	
Marlines	--	1,43	1,2 – 1,8	---	1,1	
Meros	--	0,34	--	---	---	
Merluza azul	--	--	---	---	0,19	
Merluza rape	--	--	--	---	0,20	
Patudo	--	--	--	>1,0	---	0,74
Pez espada	0,97	1,38	1,1 – 1,7	---	1,4	0,97
Reloj del mediterráneo	--	--	0,6 – 3,6	0,5 - > 1,0	0,6	
Salmón	--	0,1	--	---	0,1	
Tiburón	0-99	1,26	1,1 – 3,8	---	1,5	

Adapto de Comité del Codex sobre Aditivos y Contaminantes de Alimentos,

(2005, 3-5).

Por otro lado, muchos gobiernos y organizaciones en el mundo, difunden directrices, recomendaciones, normas y límites legales para la cantidad máxima de mercurio o metilmercurio, que deben permitirse en los pescados que se comercializan en el mercado. La Comisión del Codex Alimentarius, es una de ellas, que fijo niveles

guías de 0,5mg/g de MeHg en peces no depredadores y 1mg/g de MeHg en peces depredadores.

Sin embargo, no todas estas normas son de cumplimiento obligatorio. Para el caso de los Estados Unidos la administración de Drogas y Alimentos (FDA) determinó 1mg/g de MeHg en peces y mariscos como nivel de seguridad. Mientras que la Comunidad Europea permite 0,5mg/g de MeHg en productos pesqueros (con algunas excepciones). En Japón se estableció 0,4 mg/g de Hg total y 0,3 mg/g de metilmercurio en los peces. En tanto que, la Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos estableció 0,5 mg de Hg total por gramo de peso húmedo de pescado. Salud Canadá determinó la directriz de 0,2 mg de Hg total por gramo húmedo para consumidores frecuentes de pescado (Weinberg, 2010,26-27).

Para el caso de Colombia, el Decreto 1594 de 1984, fijó los valores máximos de metales pesados, como criterios de calidad admisibles de algunos recursos para consumo humano, y preservación de la flora y la fauna de agua dulce (Mancera y Álvarez, 2006,9).

En cuanto al contenido de mercurio en peces, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) estableció la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1322 de 2007 para su determinación, y en el año 2008 el Ministerio de Protección Social, ordenó el reglamento técnico sobre los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos, que deben cumplir los productos de pesca en particular los pescados, a través de la Resolución 776 de ese mismo año, que para el caso del mercurio, en el artículo 6 de dicha resolución; se presentan límites máximos de metales pesados, con los siguientes valores: de 0,5 mg/Kg para otras especies de la pesca y de 1,00 mg/kg para bonito y atún (Ministerio de la Protección Social, 2008,6).

En el país existe información sobre la contaminación por mercurio, pero es cierto que los estudios epidemiológicos son muy escasos. Los datos más relevantes incluyen mediciones de mercurio en aire y en humanos en la cuenca del Cauca y del Magdalena, y muy poco se tiene relación con los efectos. Algunos de los casos más dramáticos de exposición a mercurio en Colombia han sido reportados para Segovia, Antioquia. Los datos de medición de mercurio elemental en el aire del área urbana de este municipio, han comprobado que puede alcanzar los $1,26 \text{ mg/m}^3$ de aire, valor que está muy por encima de lo recomendado internacionalmente (Olivero, 2013,7).

En otra investigación realizada en dos municipios del Sur de Bolívar por Olivero, Young y Caballero, (2014,9), encontraron que los niveles de mercurio total (Hg-T) en aire en la mina Santa Cruz, variaron entre 163.7 ± 6.6 y $40455 \pm 2154 \text{ ng/m}^3$, mientras que en la cabecera municipal de San Martín de Loba oscilaron entre $223.6 \pm 20,8$ y $27140 \pm 212.5 \text{ ng/m}^3$.

Se ha identificado que el alto consumo de mercurio en las actividades auríferas se debe a: la alta ilegalidad minera y ambiental, la falta de control sobre las importaciones de este insumo y el fracaso de los programas de formalización (Güiza y Aristizábal, 2013, 33).

Materiales y métodos

Área de estudio

La zona donde se llevó a cabo esta investigación estuvo comprendida por un tramo del río Nechí, entre el corregimiento Bijagüal y el casco urbano del municipio de Nechí, localizada en el norte del departamento de Antioquía. Es una región con una alta actividad minera durante todo el año. Presenta un ecosistema de mucha importancia para la región, debido a que en ella se encuentran los principales sitios de pesca: Puerto Chaparro, San Nicolás, ciénaga El Sapo, Bocas de San Pedro, Puerto Colorado, Caserí, El Astillero, El Guamo, Bijagüal y La Esperanza, en ellos se capturan la mayor cantidad de especies ícticas de gran valor comercial para consumo humano. Presenta niveles de precipitación durante el año entre 2000 – 4000mm y una temperatura promedio de 28°C, en ella se encuentran presente importantes humedales como Bijagüal y El Sapo, que el río inunda durante los tiempos de lluvias abundantes (Alcaldía de Nechí, 2017,2).

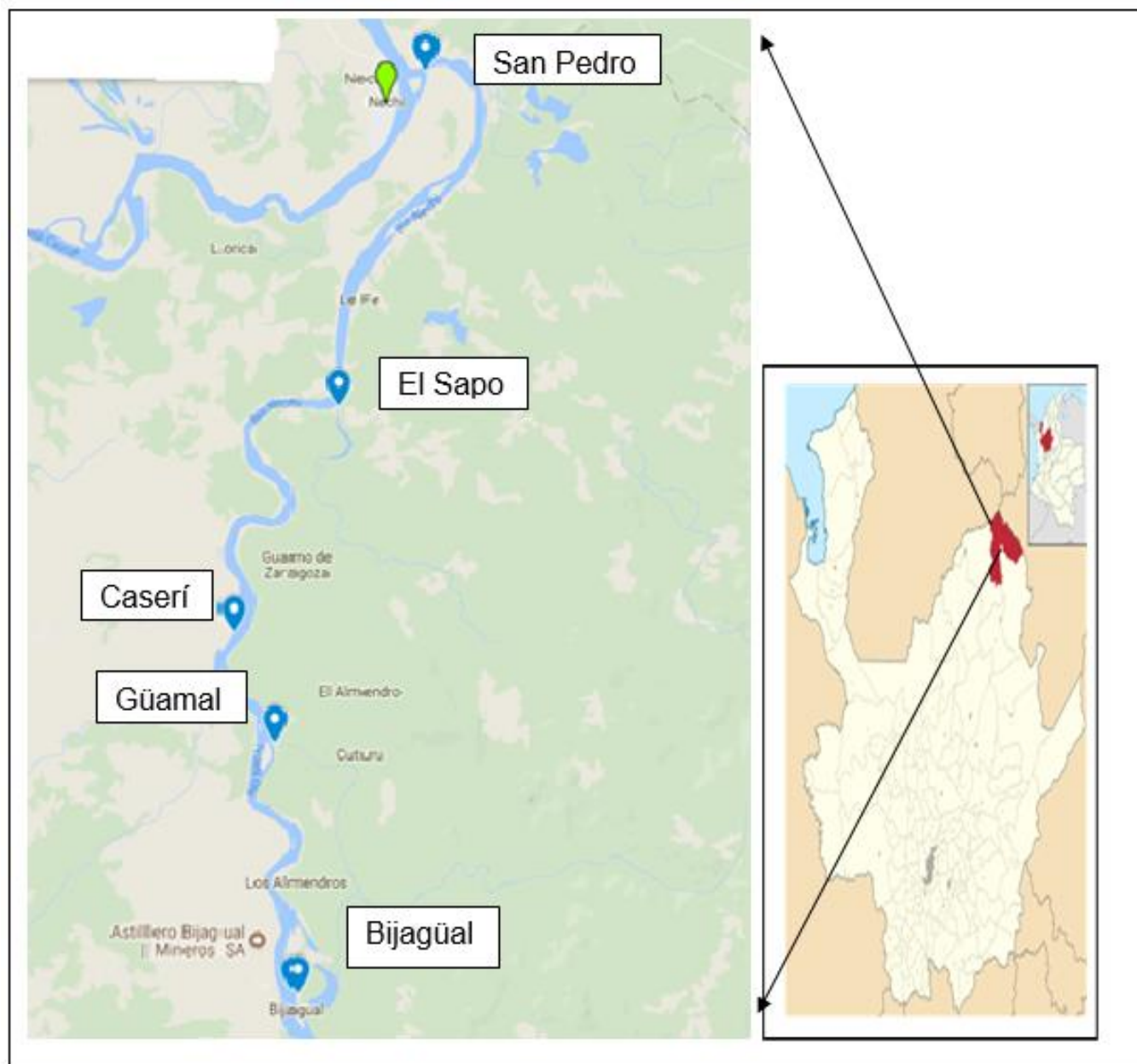
En la tabla 4 se indican los cinco sitios de pesca escogidos, donde se capturaron los bagres para la toma de muestras, con su respectiva ubicación.

Tabla 4 Estaciones de Muestreo y coordenadas de ubicación

Sitios de muestreo	Ubicación
Bijagüal	7°85'79" 74°80'69"
Güamal	7°91'74" 74°80'86"
Caserí	7°94'89" 74°81'75"
El Sapo	8°00'84" 74°78'14"
San Pedro	8°09'49" 74°76'03"

En la figura 4 se presenta la ubicación y distribución geográfica de los sitios de pesca a lo largo del río Nechí.

Figura 4. Distribución de los sitios de muestreo



Fuente: Alcaldía de Nechí,(2017,10)

Dentro de las especies ícticas que se capturan están: blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*), bagre rayado (*P. fasciatum*), bagre sapo (*Pseudopimelodus bufonius*), dorada (*Brycon moorei*), moncholo (*Hoplias malabaricus*), mojarra amarilla (*Caquetaia*

kraussii), cocobolo, mojarra azul (*Andinocara pulcher*), cachama (*Piaractus brachypomus*), cachama negra (*Colossoma macropomum*), viejito (*Cyphocharax magdalenae*), bocachico (*Prochilodus magdalenae*), doncella (*Ageneiosus pardalis*), y mayupa (*Sternopygus aequilabiatus*) (SEPEC), 2016,4).

Recolección y tratamiento de las muestras

Se realizaron cinco muestreos durante un año aproximadamente, abarcando la época seca y lluviosa. Los peces fueron recolectados en cinco sitios de pesca del río Nechí: Bijagüal, Guamo, Caserí, El Sapo y San Pedro por los pescadores locales. Los bagres rayados seleccionados fueron los más grandes, estos fueron medidos, pesados y las muestras se extrajeron de la parte dorsal del pez, mediante el corte con un cuchillo (previamente desinfectado), de inmediato fueron refrigeradas a $\pm 4^{\circ}\text{C}$ en cavas de icopor y posteriormente transportadas al laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba, donde fueron analizadas en fresco.

Detección de metilmercurio

La detección del metilmercurio de las muestras se realizó por espectroscopia de absorción atómica, luego de la digestión ácida de las mismas. Estas fueron tratadas con una mezcla de $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HNO}_3$ con una relación 2:1 v/v a una temperatura de $100 - 120^{\circ}\text{C}$, por un tiempo de 3 horas. El límite de detección de $0,14\mu\text{g}/\text{kg}$. El control de la calidad del método se realizó con material certificado de referencia y muestras enriquecidas.

La concentración de Hg-T encontrada en el material certificado DORM-2 (Dogfish Muscle, National Research Council Canadá) fue $4.44 \pm 0.23 \text{ mg}/\text{kg}$ (valor certificado

4.64 ± 0.26 mg Hg/kg). El porcentaje de recuperación en muestras enriquecidas fue 96.52±4.6% (n=6). Con desviación estándar relativa menor a 12%. Las concentraciones de metilmercurio se reportaron en µg de MeHg por kilogramo de peso fresco (µgMeHg/kg)

Cociente de Peligro

Este cociente, se determinó empleando la relación entre el nivel de exposición o dosis suministrada (E) a una dosis de referencia determinado para un período similar de exposición (DdR) (Peña, Cartes y Ayala 2001,127-128).

Ecuación 1. Cociente de Peligro.

$$\text{Cociente de Peligro} = \frac{E}{DdR}$$

Para el caso del metilmercurio, E se estimó con el uso de la siguiente ecuación (Marrugo, Lans y Benítez, 2007,881)

Ecuación 2. Dosis suministrada

$$E = \frac{C \times I}{W}$$

Donde:

C = Concentración de metilmercurio de la especie estudiada (mg/Kg)

I = Ingesta diaria de pescado (g/día)

W = Peso promedio de una persona adulta.

Análisis estadístico

El resultado de la talla (cm), peso (kg) y concentración de MeHg ($\mu\text{g}/\text{kg}$ peso fresco) para cada muestra se reporta como el promedio y sus desviaciones estándares y estos se realizaron por época de muestreo. Para el manejo de los datos se empleó el análisis de varianza de doble vía, donde los factores fueron (estación y época), utilizando un nivel de confianza del 95%, y un nivel de potencia del 80% para determinar diferencias significativas. Cuando se encontraron diferencias significativas se implementó la técnica de comparaciones múltiples de LSD.

Como se encontró una interacción significativa entre la talla y el peso se realizó un análisis de regresión con ajuste lineal, con el propósito de establecer la relación entre la concentración de metilmercurio y estos factores; donde la variable dependiente fue la concentración y las variables independientes el peso y la talla. La ecuación general del modelo de regresión simple para la talla se muestra en la ecuación 3.

Ecuación 3. Modelo de regresión simple para la talla

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

Donde:

Y = concentración MeHg ($\mu\text{g}/\text{Kg}$)

β_0 = intercepto con el eje Y

β_1 = pendiente

x_1 = talla

Este análisis fue realizado por el programa Statgraphics Centurion XVII, licenciado por la Corporación Universitaria Lasallista.

Resultados

Tallas y pesos encontrados

En la tabla 5 se reportan los resultados obtenidos de las tallas promedio en centímetros (cm) de la especie *P. fasciatum* por estación, durante las dos épocas de muestreo. En total fueron 25 especímenes muestreados: 15 en el periodo de invierno y 10 en verano.

Tabla 5. Tallas promedio (cm) del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) por estaciones y época de muestreo.

Estación de muestreo	Época de muestreo: Invierno			Época de muestreo: Verano		
	Tallas (cm)			Tallas (cm)		
	Promedios \pm s	Rangos	N	Promedios \pm s	Rangos	n
Bijagüal	89 \pm 17,682	64-102	3	80 \pm 2	78-82	2
Güamal	92,666 \pm 13,02	82-111	3	63 \pm 1	62-64	2
Caserí	81,3333 \pm 11	68-95	3	80,5 \pm 1	79,5- 81,5	2
El Sapo	72,3333 \pm 6,94	64-81	3	94,065 \pm 1,235	92,8-95,3	2
San Pedro	72, 666 \pm 2,05	70-75	3	93,53 \pm 2,1	91,2-95,4	2
Subtotal	81,6 \pm 8,284	64-111	15	82,183 \pm 11,326	62-95,45	10
Total	81,8915 \pm 0,29	63 -94,06	25	...	...	...

s: Desviación estándar n: número de muestras

En la tabla 5, se observó que la talla promedio total de los peces estudiados fue de 81,8915 \pm 0,2915 cm. Durante los periodos de muestreo, se evidenció también que la talla máxima promedio fue de 94,065 \pm 1,235 cm registrada en la estación El Sapo, en la época de verano. La talla mínima promedio fue de 63 \pm 1 cm, la cual se presentó en la estación Güamal para la misma época. Entre tanto, las tallas promedio que presentaron un igual comportamiento, durante las dos épocas de muestro fueron: Caserí y Bijagüal

y, para el caso de las tallas promedio obtenidas en la estación San Pedro hubo una diferencia de 21cm aproximadamente, durante las dos épocas de muestreo.

La tabla 6 resume los resultados obtenidos del peso promedio de los bagres por estación en cada época de muestreo, se reporta en kilogramo (kg),

Tabla 6. Pesos promedios (kg) del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) por estación y época de muestreo.

Estación de muestreo	Época de muestreo: Invierno			Época de muestreo: Verano		
	Pesos (kg)					
	Promedios \pm s	Rangos	N	Promedios \pm s	Rangos	n
Bijagüal	8,9833 \pm 3,1580	4,65-12,23	3	7,15 \pm 0,35	6,8 - 7,5	2
Güamal	10,1666 \pm 2,868	7 -14,05	3	2,766 \pm 0,491	2,275 - 3,257	2
Caserí	6,9533 \pm 3,0418	4 -10,86	3	4,67 \pm 0,105	4,565 - 4,775	2
El Sapo	5,18 \pm 0,6461	4,54 – 6	3	14,60 \pm 0,15	14,45 - 14,75	2
San Pedro	5,8166 \pm 1,1403	5 - 7,45	3	10,25 \pm 1	9,25 - 11,25	2
Subtotal	7,4209 \pm 1,8660	4 -14,05	15	7,882 \pm 4.021	2,275 - 14,75	10
Total	7,6545 \pm 0,2336	2,76 -14,60	25	...	...	...

La información de la tabla 6 muestra que el peso promedio total de los peces muestreados fue de 7,6545 \pm 0,2336 kg, durante los periodos de estudio. El peso promedio máximo 14,605 \pm 0,15 kg se presentó en la estación El Sapo en la época de verano, entre tanto, la estación que presentó el promedio mínimo 2,766 \pm 0,491 kg fue Güamal, para la época antes indicada. Ya para el caso de los pesos promedios que presentaron un comportamiento parecido durante las dos épocas, se dieron en Bijagüal y Caserí con diferencias de 1,833 kg y 2,283 kg respectivamente.

Análisis estadístico tallas y pesos

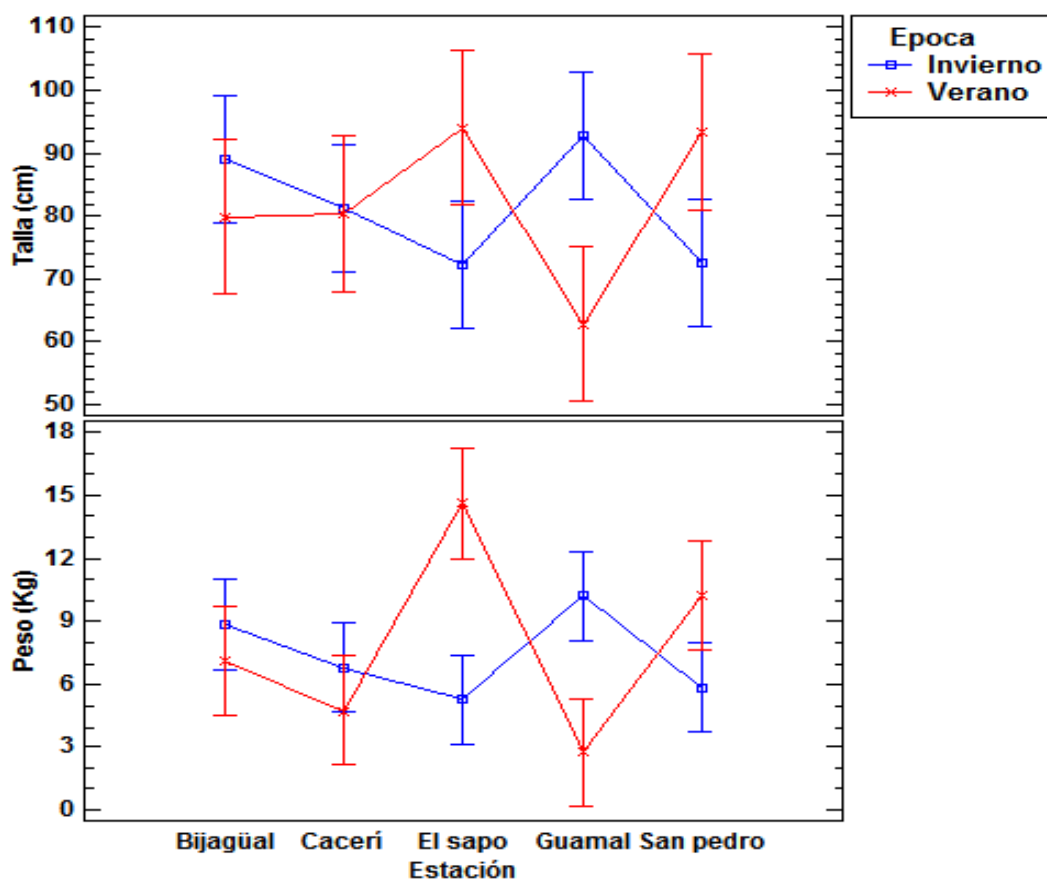
En la tabla 7 se presenta el análisis de varianza de la talla y peso. En dicha tabla se observa que, para estos dos aspectos, la interacción entre época y estación es significativa ($p < 0,05$), lo que indica que los dos factores influyen a la vez sobre cada una de las variables.

Tabla 7. Análisis estadístico talla y peso

Variable Respuesta	Fuente de Variación	S.C	Gl	C.M	V.F	V.P
Talla (cm)	A:Época	2,03933	1	2,03933	0,02	0,9030
	B:Estación	130,467	4	32,6167	0,25	0,9079
	AB	2232,21	4	558,052	4,20	0,0177
	Residuos	1992,54	15	132,836		
	Total	4306,45	24			
Peso (Kg)	A:Época	1,38932	1	1,38932	0,23	0,6379
	B:Estación	49,7373	4	12,4343	2,07	0,1364
	AB	200,562	4	50,1406	8,33	0,0010
	Residuos	90,3055	15	6,02037		
	Total	317,404	24			

En la figura 5 se observa que los bagres de talla más grande y mayor peso se capturaron en el sitio de pesca El Sapo durante el verano. Así mismo, este comportamiento también se registró en la estación Güamal, pero durante la época de invierno, ya para los demás lugares de estudio, no se registró diferencias significativas en dichos variables respecto a la época.

Figura 5. Intervalos LSD talla y peso



Por medio de la técnica de Mínimos cuadrados se determinaron los coeficientes β_0 y β_1 de la ecuación 3, dando como resultado la ecuación 4.

Ecuación 4. Modelo de regresión simple para la talla con los coeficientes

$$Y = -829,841 + 26,258x_1$$

Donde:

Y = concentración MeHg ($\mu\text{g}/\text{Kg}$)

x = talla

En el anterior modelo se observa que, por un aumento de 1 cm en la talla de los bagres, la cantidad de concentración de MeHg se aumenta en 26,2585 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) por cada animal.

Para el caso del peso, también por medio de la técnica de los mínimos cuadrados, se determinaron los coeficientes β_0 y β_1 de la ecuación general del modelo de regresión simple, se muestra en la ecuación 5.

Ecuación 5. Modelo de regresión simple para el peso con los coeficientes

$$Y = 1735,16 - 22,02x_1$$

Donde:

Y = concentración de MeHg ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

x_1 = peso.

En el modelo anterior se observa como por un aumento de 1 kg en el peso de los bagres, la cantidad de concentración de MeHg se disminuye en 22,02 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) por cada animal.

Concentración promedio de metilmercurio total en músculo dorsal del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado).

La tabla 8 resume los resultados obtenidos de la concentración promedio de MeHg total, presente en el músculo dorsal de la especie, por estación durante las dos épocas de muestreo, dicha concentración se reporta en microgramos de MeHg por kilogramo de peso fresco del pez ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso fresco). Para el mismo número de muestras descritas anteriormente.

En dicha tabla se observa que, la concentración promedio de MeHg total obtenida en el músculo dorsal de la especie, es de $1582,937 \pm 1093$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso fresco. La concentración promedio máxima del analito es de $3954,375 \pm 128,235$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso fresco en la estación Caserí durante el verano y la concentración mínima promedio fue de $202,875 \pm 15,825$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso fresco y se registró en Bijagüal para esa misma época.

Tabla 8. Concentración promedio de MeHg total ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso fresco) del músculo dorsal del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) por estación y época de muestreo

Estación de muestreo	Época de muestreo: Invierno			Época de muestreo: Verano		
	Concentración de MeHg ($\mu\text{g}/\text{kg}$ peso fresco)					
	Promedios \pm s	Rangos	n	Promedios \pm s	Rangos	n
Bijagüal	$1961,4033 \pm 1873,1544$	283,82 - 4575,68	3	$202,875 \pm 15,825$	187,05 - 218,7	2
Güamal	$1671,59 \pm 1381,3079$	142,61 - 3486,02	3	$585,72 \pm 35$	550,75 - 620,72	2
Caserí	$392,99 \pm 104.6311$	217,5 - 526,89	3	$3954,375 \pm 128,235$	3826,14 - 4082,61	2
El Sapo	$1961,3333 \pm 1885,2181$	103,52 - 4546,28	3	$2337,4 \pm 1498,5$	838,9 - 3838,9	2
San Pedro	$842,2566 \pm 572,8233$	311,52 - 1638,4	3	$1918,435 \pm 951,015$	967,42 - 2869,45	2
Subtotal	$1365,913 \pm 1163,427$	392,99 - 1961,4033	15	$1799,761 \pm 525,715$	202,875 - 3954,375	10
Total	$1582,937 \pm 1093$	202,875 - 3954,375	25	...	...	...

Concentración promedio de metilmercurio total en piel dorsal del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado).

Los resultados obtenidos sobre la concentración promedio de MeHg total presente en la piel dorsal de los bagres muestreados, se presentan en la tabla 9, dicha

concentración se reporta en microgramos de MeHg por kilogramo de peso fresco del pez ($\mu\text{gMeHg/kg}$ peso fresco).

En la tabla 9, se observa que la concentración promedio total de metilmercurio total, presente en la piel dorsal de los peces es de $981,4977 \pm 2,8032 \mu\text{gMeHg/kg}$ de peso fresco. Se evidencia también, que la concentración promedio máxima del analito, en dicho tejido, es de $1977,735 \pm 41,625 \mu\text{gMeHg/kg}$ de peso fresco, la cual se presentó en la estación Caserí durante el verano y la concentración mínima promedio fue encontrada de $92,64 \pm 10$, la cual se dio en la estación Bijagüal durante este mismo periodo de tiempo.

Tabla 9. Concentración promedio de MeHg total ($\mu\text{g/kg}$ de peso fresco) en piel del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) por estación y época de muestreo

Estación de muestreo	Época del muestreo: Invierno			Época del muestreo: Verano		
	Concentración de MeHg ($\mu\text{g/kg}$ peso fresco)					
	Promedios \pm s	Rangos	n	Promedios \pm s	Rangos	n
Bijagüal	1710,63 \pm 907,762844	574,3 - 2796,11	3	92,64 \pm 10	82,64 - 102,64	2
Güamal	1620,6933 \pm 1489,3769	513,23 - 3726,04	3	397,89 \pm 50	347,89 - 447,89	2
Caserí	688,0433 \pm 548,8083	143,9 - 1439,05	3	1977,735 \pm 41,625	1936,11 - 2019,36	2
El Sapo	1175,8033 \pm 1326,7881	172,88 - 3050,64	3	1440,74 \pm 1100	340,74 - 2540,74	2
San Pedro	676,9966 \pm 612,3291	85,29 - 1520,42	3	1012,5 \pm 828	184,5 - 1840,5	2
Subtotal	1174,433 \pm 440,61	143,9 - 3726,03	15	984,301 \pm 683,371	184,5 - 2540,74	10
Total	981,4977 \pm 2,8032	92,64 - 1977,735	25	...	...	...

Análisis estadístico de la concentración de MeHg en músculo y piel

En la tabla 10 se presenta el análisis estadístico para la concentración de MeHg ($\mu\text{g}/\text{kg}$) en músculo y piel, en relación a la estación de muestreo y época del año. Como se puede observar en la tabla, no existen diferencias significativas para ninguno de los factores analizados, incluyendo la interacción ($p > 0,05$).

Tabla 10. Análisis de varianza del músculo y piel del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) por estación y época de muestreo

Variable Respuesta	Fuente Variación	de S.C	GI	C.M	V.F	V.P
Músculo	A:Epoca	0,885377	1	0,885377	0,66	0,4286
	B:Estación	1,53504	4	0,383759	0,29	0,8819
	AB	11,0666	4	2,76666	2,07	0,1360
	Residuos	20,0631	15	1,33754		
	Total	33,5501	24			
Piel	A:Epoca	1,12829E6	1	1,12829E6	0,49	0,4929
	B:Estación	5,6056E6	4	1,4014E6	0,61	0,6595
	AB	2,07746E7	4	5,19366E6	2,27	0,1096
	Residuos	3,42652E7	15	2,28435E6		
	Total	5,93994E7	24			

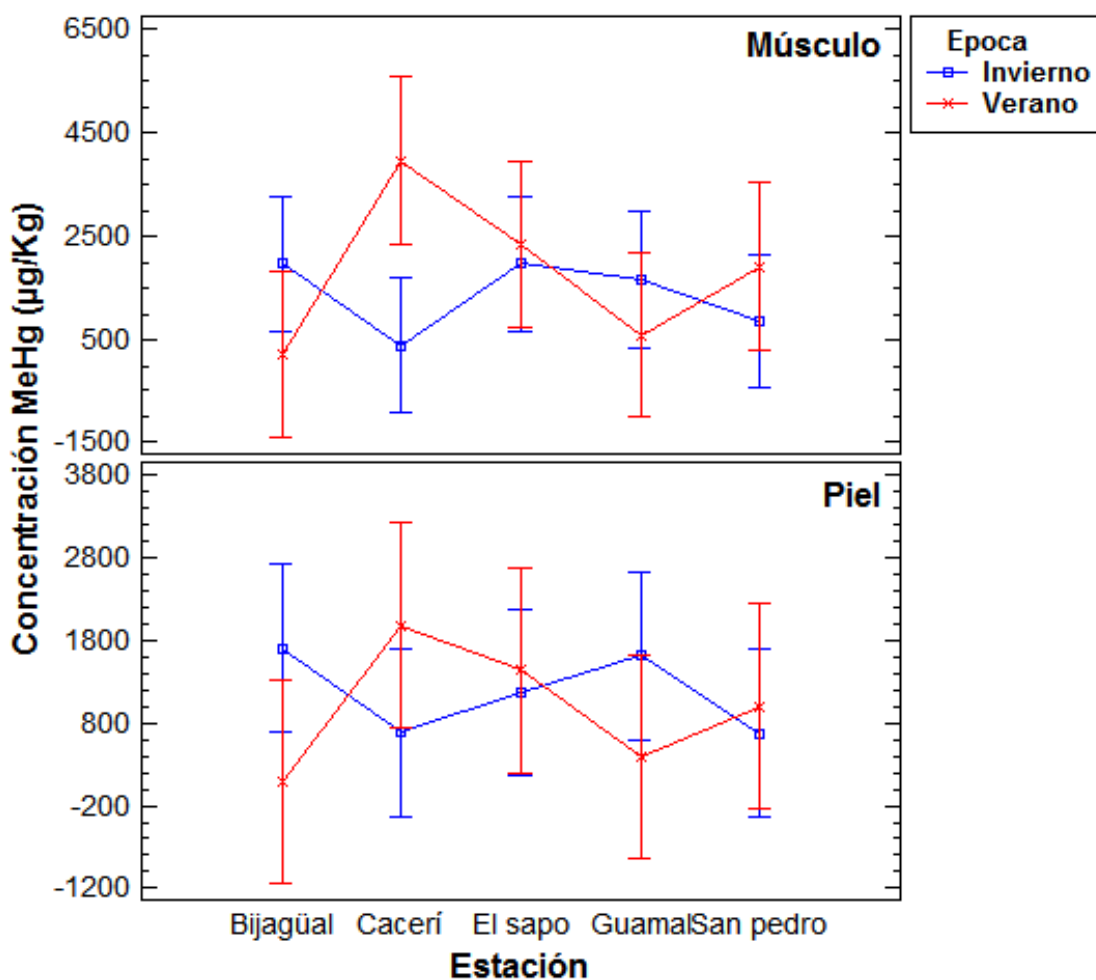
Se estimó que la concentración promedio de MeHg total en el músculo, fue de $1583,9378 \pm 1093 \mu\text{g}/\text{kg}$, con un valor promedio máximo de $3954,375 \pm 128,235 \mu\text{g}/\text{kg}$ registrado en Caserí durante el verano, y un promedio mínimo de $202,875 \pm 15,825 \mu\text{g}/\text{kg}$ en Bijagüal durante la misma época.

Para el caso de la piel dorsal, la concentración promedio de MeHg total estimada fue de $981,4977 \pm 2,802 \mu\text{g}/\text{kg}$, con un valor promedio máximo de $1977,735 \pm 41,625 \mu\text{g}/\text{kg}$, registrado en Caserí durante el verano y una concentración promedio mínima de

92,64±10 µg/kg, la cual se presentó en la estación Bijagüal durante ese mismo periodo de tiempo. Todo lo anterior, se observa mejor en la figura 6 donde se representan los comportamientos de dichas concentraciones por estación y época de muestreo.

En dicha figura, también se observa que el comportamiento de la concentración de MeHg presente en el músculo y piel dorsal del bagre rayado, fueron muy similar en las estaciones Caserí, el Sapo y San Pedro, entre tanto, en las estaciones Bijagüal y Güamal dicho comportamiento fue distinto.

Figura 6 Intervalos LSD de la concentración MeHg en músculo y piel



Estimación del riesgo e impacto posible sobre la población por consumo de *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado).

La tabla 11 se presentan los resultados obtenidos para la estimación del Cociente de peligro para efectos no cancerígenos que puede generar a la población sensible el consumo de *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado), tomando como referencia los intervalos de las concentraciones promedio total de MeHg determinadas en el músculo y piel dorsal de la especie, una ingesta diaria de 0,120 kg/día para el consumo de pescado en la zona de estudio, el peso promedio de una persona adulta de 70 kg y una dosis de referencia (RfD) de 0,1 µg/Kg día (National, Research Council Committee, 2000,307).

Tabla 11. Cociente de Peligro para efectos no cancerígenos del MeHg con ingesta de pescado de 0,12kg/día

Tejido dorsal del pez	Intervalos de concentración MeHg (µg/kg peso fresco)	Niveles de exposición MeHg (µg/kg día)	Intervalos de Cociente de Peligro
Músculo	202,875 3954,374	- 0,347 – 6,778	3,477 - 67.789
Piel	92,64 1977,735	- 0,1588 – 3,390	1,58 – 33,904

En la tabla anterior se observa que los valores de los intervalos de Cociente de Peligro obtenidos para el músculo y la piel del bagre rayado fueron mayores que 1, los cuales se presentaron debido a los altos niveles exposición que originan las concentraciones de MeHg obtenidas. Por ello, se hace mayor la preocupación, que se presenten efectos no cancerígenos originados por el consumo la especie e indica que hay un alto riesgo para la salud de la población.

Fortalecimiento del conocimiento de la contaminación por metilmercurio del *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado), de algunos sitios de pesca del río Nechí.

En el anexo 1, se muestra la certificación que expidió el Editor Institucional de la Corporación Universitaria Lasallista sobre la publicación del capítulo del libro titulado: Evaluación de la contaminación por metilmercurio en bagre rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum*) del área de pesca entre el corregimiento Bijagüal y la zona urbana de Nechí y los humedales El sapo y Bijagüal del río Nechí, factor de riesgo químico que afecta la calidad de la especie.

Para la comunicación de los resultados de esta investigación, a las autoridades de salud y ambientales regionales, en el anexo 2 y 3 se presentan los oficios radicados ante la Secretaria Seccional de Salud y la Secretaria del Medio Ambiente de la gobernación de Antioquia, en el cual se les solicitó la realización de una reunión para la socialización y divulgación de dichos resultados, y en dichos oficios se adjuntó el Boletín Informativo de difusión de los resultados.

A los estamentos municipales en salud y ambientales, también se enviaron y radicaron oficios, con el propósito de llevar a cabo reuniones de socialización de estos resultados. En los anexos 4 y 5 aparecen los soportes de radicados ante la Secretaria de Salud y del Medio Ambiente del municipio de Medellín, y en los anexos 6 y 7 se reportan los soportes de los oficios enviados a la Secretaria de Salud y Alcaldía del municipio de Nechí. También se les envió adjunto el Boletín Informativo de estos resultados.

Se está en espera de la notificación, por parte de las instituciones regionales y locales antes indicadas, para la realización de las reuniones de socialización.

Discusión

Los datos encontrados de talla, peso y la concentración total promedio de MeHg del músculo dorsal del bagre rayado del área de estudio del río Nechí fueron: $81,891 \pm 0,291$ cm, $7,645 \pm 0,233$ kg y $1582,937 \pm 1093$ μ g/kg, estos valores son mucho mayores que los obtenidos por Álvarez, (2013,13), en un estudio realizado con 24 especies de diferentes ciénagas del Magdalena Medio, entre las que se incluía el *Pseudoplatystoma magdaleniatum* cuyos valores fueron: talla ($56,5 \pm 12,1$ cm), peso ($2,162 \pm 1,433$ kg) y concentración de mercurio total 170 ± 56 μ g/kg).

La talla promedio ($82,183 \pm 11,326$ cm) y peso promedio ($7,88 \pm 402$ kg) del bagre rayado encontrados durante el verano en el presente estudio, son menores a los reportados por Álvarez et al., (2012,66) ($18,12$ kg y 106 cm), para esta especie durante la misma época, lo cual probablemente se puede asociar al incremento que ha tenido la pesca de esta especie, durante los últimos años, y también probablemente, al incremento de la contaminación por mercurio en algunos lugares del río en relación a otros.

La concentración promedio total de MeHg encontrada en el músculo dorsal del bagre rayado del área de estudio fue de $1582,937 \pm 1093$ μ gMeHg/kg de peso fresco, esta concentración es mucho mayor a la reportada por Álvarez et al., (2012,66) en una investigación que realizaron con seis especies, donde se incluía al bagre rayado de los ríos Nechí y La Miel, las cuales fueron 443 μ gMeHg/kg en el río Nechí y 56 μ gMeHg/kg para el río La Miel. Situación que puede relacionarse probablemente con el incremento de la actividad aurífera, lo cual pudo haber generado una mayor concentración de MeHg en los cuerpos de agua y por lo tanto en la cadena alimentaria.

En este estudio referencia, antes indicado, los autores no estimaron el índice de peligrosidad (HI) que pueden tener estas concentraciones para la salud. Sin embargo, ven con preocupación que en las regiones mineras las especies altamente contaminadas, estén llegando a la población en los mercados locales.

Por otro lado, la talla promedio ($81,891 \pm 0,291$ cm) hallada en el *P. fasciatum* del río Nechí, es mucho mayor a la señalada por Marrugo et. al., (2008,23), para esta misma especie en la región de la Mojana, lo que lleva a pensar que el nivel promedio de metilmercurio ($1582,937 \pm 1093 \mu\text{gMeHg/kg}$ peso fresco) determinado en este estudio, se hacen mucho mayor al reportado por autores antes citados ($375 \pm 80 \mu\text{gMeHg/kg}$ peso fresco), debido quizás, a la diferencia que hay entre dichas tallas.

La concentración promedio total resultado de esta investigación ($1582,937 \pm 1093 \mu\text{gMeHg/Kg}$ peso fresco) es muy elevada comparada con la reportada por Marrugo, Lans y Benítez, (2007,883), ($117 \mu\text{gMeHg/Kg}$ peso fresco), en su estudio realizado con peces de la Ciénaga de Ayapel, entre las cuales se encontraba *P. fasciatum*. Situación que puede ser generada probablemente por las diferencias que hay entre las zonas de procedencia de las muestras, debido a que, la Ciénaga de Ayapel presenta poca afluencia minera en relación a las orillas del río Nechí donde el desarrollo de esta actividad es mucho mayor.

Para el Cociente de Peligro obtenido (3.437 - 67.789) en este estudio, en contraste con el Índice de Peligrosidad (HI) estimado (3.36 – 8.96) por los autores antes mencionados, este intervalo presenta unos valores más altos. Lo que nos indica que el consumo frecuente de bagre reyado puede generar un alto riesgo para la salud de la población sensible.

En otro estudio realizado por (Marrugo et. al., 2008,23,27) con 16 especies ícticas (entre las que se encontraba el bagre pintado) de la región de la Mojana Colombiana, los autores encontraron una concentración de 375 ± 80 $\mu\text{gMeHg/Kg}$ peso fresco, la cual es baja comparada con obtenida en esta investigación.

En otra investigación realizada con peces de la región de la Orinoquia Colombiana y Venezolana, se encontró una concentración de $397,8$ $\mu\text{gMeHg/kg}$ en bagre rayado y una Cuota de Riesgo (HQ) al consumidor de 6.0 para el caso de Colombia (Trujillo et al., 2010). El valor del nivel de MeHg reportado por los autores es bajo, en relación al valor obtenido en el bagre rayado del río Nechí, más el valor de cuota de riesgo, se ajusta a los valores del intervalo del HI en este estudio determinado.

La concentración de MeHg obtenida en este estudio ($1582,937\pm 1093$ $\mu\text{g/kg}$), es más elevada que la obtenida por Garcia, Parejo, Vela y Coronado, (2015,52,53), en la especie capaz (*Pimelodus grosskopfii*) en el Huila ($21,24$ a $155,93$ $\mu\text{gMeHg/kg}$). Las autoras plantean que concentraciones superiores a $75\mu\text{gHg/kg}$, indican la influencia principalmente de actividades antrópicas incluyendo la obtención de oro y/o al uso desmedido del mercurio durante el proceso de beneficio para adquirirlo. Esta indicación tiene mucha relación con los resultados de este estudio, ya que el área de procedencia del bagre rayado tiene una gran afluencia minera de extracción de oro y minería artesanal del mismo. Puede ser que en el contexto ambiental a lo largo del río Nechí, en los lugares de muestreo donde se registraron los valores más altos del tóxico en la especie, presenten mayor presencia de la actividad minera.

El nivel de MeHg del *P. fasciatum* de las zonas de pesca del río Nechí es indudablemente alto, solo dos concentraciones promedio están por debajo del límite máximo permisible de metilmercurio en peces carnívoros ($0,2\text{mg/kg}$), recomendado por

la OMS para la protección de población vulnerable (WHO, 1990,36), los demás niveles promedio fueron más elevados que el indicado por esta organización.

En contraste con el panorama internacional, en algunas regiones de Asia se han realizado investigaciones tendientes a determinar la concentración de metilmercurio presente en peces predadores consumidos en dichas zonas, tal es el caso, de un estudio realizado por Looi, Aris, Haris, Yusoff y Hashim, (2016,230), en Malasia, quienes determinaron MeHg en los diferentes tejidos de dos especies de silúrido gris (*Plotosus canius*) y musdskipper gigante (*Periophthalmodon schlosseri*), los niveles encontrados en el músculo de cada especie fueron: *P. canius*: 140 ± 110 $\mu\text{gMeHg/kg}$; y *P. schlosseri* 170 ± 110 $\mu\text{gMeHg/kg}$. Relacionando estos valores con la concentración de MeHg obtenida en este estudio ($1582,937 \pm 1093$ $\mu\text{g/kg}$), se observa que el nivel MeHg en los peces asiáticos es menor.

Por otro lado, el valor en la concentración promedio total de metilmercurio obtenida en el bagre rayado ($1,583 \pm 1093$ $\mu\text{g/kg}$) del río Nechí osciló entre 202,675 a 3954,375 $\mu\text{g/kg}$, estos datos al ser comparados con los reportados por Richs y Fredicksen, (2015,33) (nivel promedio 160 $\mu\text{g/kg}$ oscilante entre 20 a 901 $\mu\text{g/kg}$) en peces de los reservorios en Indiana, se estima que el nivel de mercurio del bagre rayado de la zona del río colombiano es mucho mayor que el de las especies icticas de los embalses americanos. Situación que es parecida a los resultados (0.49 ± 0.26 $\mu\text{g/kg}$), reportados por Squadrone, Benedetto, Prearo y Abete, (2015,27), en Silúridos europeos (*Silurus glanis*) de algunos ríos de la región norte de Italia.

La concentración de MeHg obtenida en esta investigación ($1582,937 \pm 1093$ $\mu\text{g/kg}$), es relativamente baja con la obtenida por Rodrigues, et. al., (2014,508) para la especie *Cichla monoculus* de 2450 $\mu\text{g/kg}$ del río Roosevelt de la cuenca suroeste del

Amazonas. Según los autores, los peces carnívoros (como los bagres), pueden ser buenos indicadores de contaminación por MeHg e señalar las implicaciones biológicas que tiene este tóxico en las redes alimenticias.

Entre tanto, en otro estudio realizado por Oliveira et. al., (2014,54,55), con peces carnívoros y no carnívoros, en el Estado de Pará, Brasil se encontraron niveles de mercurio total (Hg-T) en las especies carnívoras *Brachyplatystoma rousseauxii* y *Brachyplatystoma filamentosum* de 400µg/kg durante el verano y 100µg/kg en época lluviosa, comportamiento que fue similar en este estudio, para las dos épocas de muestreo, pero los valores de dichas concentraciones obtenidos en esta investigación, son absolutamente elevados (1799,761±525,715 en verano y 1365,913±1163,427 en invierno). Lo que da a entender que la concentración de mercurio total y metilmercurio se hace mayor durante el verano, debido probablemente a los cambios de hábitos alimentarios de las especies carnívoras o a la mayor biodisponibilidad del mercurio en el agua por la baja en el afluente del río.

Las altas concentraciones de metilmercurio encontradas 1582,937±1093µg/kg en el bagre rayado del río Nechí, son mucho mayores a las reportadas por Carrasco, Benejam, Bayona y Díez, (2011,1215), en silúridos europeos (*Silurus glanis*) 620 ± 660 µg/kg en aguas abajo de un sitio contaminado con mercurio del río Ebro en España; lo que demuestra las incidencias ambientales y biológicas que pueden estar ocasionando el uso del mercurio en las actividades mineras.

Para el caso de la concentraciones de Hg de algunos peces marinos del norte de los Estados Unidos, Kamman et. al., (2005,169), reportan niveles de Hg de 980µg/kg en lucio (*Esox masquinongy*), 760 µg/kg en lucioperca (*Vitrius sander*), 702µg/kg para la

perca blanca (*Morene americana*) y de 604 µg/kg en lucio del norte (*Esox lucios*), estos valores comparados con los obtenidos para el *P. fasciatum* del río Nechí, son menores.

Al comparar la concentración de MeHg ($1582,937 \pm 1093 \mu\text{g/kg}$) y el intervalo de Cociente de Peligro (3,477 - 67.789) obtenidos en el bagre rayado del río Nechí, con los reportados por Ramos, Guevara, Macias y Ortiz, (2003,6), ($550 \mu\text{gMeHg/kg}$ y 2,354) en la especie carnívora *Ictalurus punctatus* (bagre de canal), de la región del “Laguito” de Nuevo Laredo Tamaulipas, México, se observa que el nivel determinado del tóxico en este estudio es mucho menor, y en relación a los valores del intervalo del Cociente de Peligro estos valores, son mucho mayores al reportado por dichos autores.

Por otro lado, al comparar la concentración de MeHg ($1582,937 \pm 1093 \mu\text{g/kg}$) de este estudio, con las reportadas por Ruelas, Horvat, Pérez y Páez, (2003, 5) en músculo de mamíferos como la ballena gris (*E. robustus*) ($109 \pm 40 \mu\text{gMeHg/kg}$ peso seco) y delfín tornillo (*S. longirostris*) ($946 \pm 157 \mu\text{gMeHg/kg}$ peso seco) realizada en la región del golfo de California, México, se observó que el nivel de mercurio encontrado en el presente estudio es mucho mayor.

Conclusiones

Los resultados de la concertación promedio total de metilmercurio presente en bagre rayado (*P. fasciatum*) de las zonas de pesca entre el corregimiento de Bijagüal y el casco urbano del municipio de Nechí es mayor que los valores recomendados por la norma colombiana (0.5mg/kg), lo cual puede estar asociado a la gran influencia minera que se presenta a lo largo del río Nechí. Esta situación es preocupante, debido a que en esta zona de extracción minera y artesanal de oro los pescados se están desembarcado y comercializado en los mercados locales y regionales, generándose, posibles riesgos de efectos nocivos aun sin estudiar, para la salud de la población en general, en especial la de los grupos vulnerables.

Los altos valores del Cociente de Peligro sugieren que existe probablemente un alto riesgo para la salud de la población de la zona de estudio, debido a la exposición al metilmercurio asociada al consumo periódico de bagre rayado.

A medida que el bagre rayado va creciendo en él se va acumulando mayor cantidad de metilmercurio, relación que pone de manifiesto una alta bioacumulación y biomagnificación de este tóxico en los peces más grandes.

Pese a que los niveles de mercurio son altos en el músculo de esta especie íctica, se hace prudente sugerir a la población sensible, en la zona de estudio, un consumo moderado y poco frecuente del bagre rayado.

Recomendaciones

Realizar investigaciones rigurosas y más amplias que busquen determinar las concentraciones de metilmercurio en especies ícticas carnívoras y no carnívoras que se extraen de los diferentes sitios de pesca y humedales del río Nechí

Proponer estudios con población vulnerable del área de estudio que ayuden a estimar los efectos sobre la salud, que está causando la exposición del mercurio y el metilmercurio en las personas, debido a la ingesta frecuente de pescado proveniente del río Nechí.

Promover estudios más rigurosos de salud pública y ambiental y por parte de los entes locales y nacionales, con el propósito de generar recomendaciones de alerta sobre el consumo de este tipo de pescado y estas ayuden a promover normas que regulen el uso del mercurio en la actividad minera

Por el aporte de nutrientes que tienen los pescados para la salud del hombre, se hace necesario establecer la relación entre mercurio-selenio y demás componentes nutricionales presente en el bagre rayado del río Nechí, para así, establecer las recomendaciones adecuadas del consumo de este pez, que orientan a la población al momento de la selección.

Generar estrategias que involucren al sector minero industrial y artesanal, a implementar una extracción de oro más amigable con el medio ambiente y salud (minería ecológica), que busque reducir las emisiones de mercurio que se están haciendo en el río Nechí.

Referencias

Agency for Toxic Substances and Disease Registry, A. (1999). *Toxicological profile for mercury*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, U.S. Recuperado de <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46-c2.pdf>

Alvarez, S., Jessick, A., Palacio, J., y Kolok, A. (2012). Methylmercury concentrations in six fish species from two Colombian rivers. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88(1), 65–8. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0458-x>

Alvarez Galeano, S. (2013). *Acumulacion de Mercurio en Tejido Muscular y Hepatico en Especies Icticas en diferentes Ciénagas del Magdalena Medio*. Universidad de Antioquia. Universidad de Antioquia. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Anfaco, C. 1904-2014. (2014). Mercurio y Metilmercurio en los productos pesqueros. Recuperado de <http://recopes.agripa.org/download-doc/97493>

Arcila, L. Vargas, J., y Arias, G. (2009). *Perfil de la subregión del bajo cauca*. Medellín. Recuperado de http://www.antioquia.gov.co/antioquia-v1/organismos/planeacion/descargas/perfiles/perfilsubregional_bajo_cauca.pdf

Argumedo, M., Consuegra, A., Marrugo, J., y Vidal, J. (2013). Exposición a mercurio en habitantes del municipio de San Marcos (Departamento de Sucre) debida a la ingesta de arroz (*Oryza sativa*) contaminado. *Revista Salud Pública*, 15(6), 903–915. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v15n6/v15n6a10.pdf>

Barbarino, A. (2005). Aspectos biológicos y pesqueros de los bagres rayados *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus 1766) y *P . tigrinum* (Valenciennes 1840) (

Siluriformes : Pimelodidae) en la parte baja de los ríos Apure y Arauca , Venezuela

Introducción Los Siluriformes so. *Memoria de La Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, (Linnaeus 1766), 71–91. Recuperado de [http://www.fundacionlasalle.org.ve/userfiles/10-Memoria163 71-91.pdf](http://www.fundacionlasalle.org.ve/userfiles/10-Memoria163%2071-91.pdf)

Björnberg, K. A., Vahter, M., Berglund, B., Niklasson, B., Blennow, M., y Sandborgh-Englund, G. (2005). Transport of methylmercury and inorganic mercury to the fetus and breast-fed infant. *Environmental Health Perspectives*, 113(10), 1381–1385. <https://doi.org/10.1289/ehp.7856>

Bouchentouf, S., y Aïnad, D. (2014). Bio-monitoring of Trace Mercury Using Seabirds ' Dejections from Arzew Gulf : A Potential Risk for Human Health. *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 2(1), 7–11. <https://doi.org/10.12691/jepmh-2-1-2>

Bridges, C., y Zalups, R. K. (2010). Transport of inorganic mercury and methylmercury in target tissues and organs. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B, Critical Reviews*, 13(5), 385–410. <https://doi.org/10.1080/10937401003673750>

Caballero, L. (2010). Consumo de pescado y exposicion al metilmercurio . Riesgos y beneficios durante el embarazo. *Revista Electronica de Portales Medicos.com*, 1–22. Recuperado de <http://www.portalesmedicos.com/publicaciones/articles/2207/1/Consumo-de-pescado-y-exposicion-al-metilmercurio-Riesgos-y-beneficios-durante-el-embarazo.html>

Cala, P. (1990). Diversidad, adaptaciones ecológicas y distribución geografica de la familias de peces de agua dulce de Colombia. *Revista Academica Colombiana de*

Ciencias, XVII(67), 726–740. Retrieved from http://www.accefyn.org.co/revista/Volumen_17/67/725-740.pdf

Cámara, S., Esperón, F., de la Torre, A., Carballo, M., Aguayo, S., Muñoz, M., y Sánchez, J. (2003). Inmunotoxicidad en cetáceos. Parte I: metales pesados. *Revista Canaria de Las Ciencias Veterinarias*, 3(1), 30–45. Recuperado de http://repositorio.ulpgc.es/bitstream/10553/9894/1/0280574_00003_0006.pdf

Carrasco, L., Benejam, L., Bayona, J., y Díez, S. (2011). Methylmercury levels and bioaccumulation in the aquatic food web of a highly mercury-contaminated reservoir. *Environment International*, 37(7), 1213–1218. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.05.004>

Castro, G. (2011). Efecto del mercurio en los peces y la salud pública en el Perú. *Salud Animal*, 1–9. Recuperado de http://veterinaria.unmsm.edu.pe/files/Articulo_castro_efecto_mercurio.pdf

Cheuk, D. K., y Wong, V. (2006). Attention-deficit hyperactivity disorder and blood mercury level: a case-control study in Chinese children. *Neuropediatrics*, 37(4), 234–240. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924577>

Clarkson, T. W. (2002). The three modern faces of mercury. *Environmental Health Perspectives*, 110(SUPPL. 1), 11–23. <https://doi.org/10.1289/ehp.02110s111>

Comité del Codex sobre Aditivos y Contaminantes de Alimentos, (2005). *Documento debate sobre los niveles de referencia para el metilmercurio en el pescado* (Vol. 17). La Haya. Recuperado de ftp://193.43.36.92/codex/Meetings/CCFAC/ccfac37/FA37_35s.pdf

Conde, E. Ien., Conde, E., y Carreras, C. (2015). Evaluación de la ingesta de pescado en población gestante en relación a la exposición al metilmercurio. *Revista Clínica Y Dietética Hospitalaria*, 35(3), 66–73. <https://doi.org/10.12873/353conde>

Corredor, C. (2013). *Estado del arte sobre la presencia de mercurio en peces y su efecto en la salud*. Pontifica Universidad Javeriana. Recuperado de <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/11996/1/CorredorRodriguezCamila2013.pdf>

Cortes, G. (2003). *Guía para el manejo, cría y conservación del bagre rayado: pseudoplatystoma fasciatum (Linneo)*. Convenio Andrés Bello. Recuperado de <https://books.google.es/books?id=ROB4DHpq7x0C>

Crespo, M., Macêdo, G., Pereira, S., Arrifano, G., Picanço, D., Nascimento, J., y Herculano, A. (2009). Mercury and human genotoxicity: Critical considerations and possible molecular mechanisms. *Pharmacological Research*, 60(4), 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.02.011>

David Ruales, C. A. (2015). *Tópicos para el manejo de especies ícticas silvestres en confinamiento: casos de estudio Bryncon moorei, Bryncon henni, Psudoplatystoma magdaleniatum; Pimelodus grosskopfii y pimelodus blochii*. (Lasallista, Ed.). Caldas.

Díaz, O., Encina, F., Chuecas, L., Becerra, J., Cabello, J., Figueroa, A., y Muñoz, F. (2001). Influencia de variables estacionales, espaciales biológicas y ambientales en la bioacumulación de mercurio total y metilmercurio en *Tagelus dombeii*. *Revista de Biología Marina Y Oceanografía*, 36(1), 15–29. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572001000100003>

Díez, S., Montuori, P., Pagano, A., Sarnacchiaro, P., Bayona, J., y Triassi, M. (2008). Hair mercury levels in an urban population from southern Italy: Fish consumption

as a determinant of exposure. *Environment International*, 34(2), 162–167.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.07.015>

Diogo, R. y Peng, Z. (2010). State of the Art of Siluriform Higher-level Phylogeny. In *State of the Art of Siiluriform Higher-level Phylogeny* (pp. 464–515). China: Cattfish. Recuperado de [http://www.fishmodo.org/sites/default/files/Terry Grande-Gono_0.pdf#page=476](http://www.fishmodo.org/sites/default/files/Terry_Grande-Gono_0.pdf#page=476)

Doadrio Villarejo, A. L. (2004). Ecotoxicología y acción toxicológica del mercurio. *Anal, Real Academina Nacional de Farmaceutica*, 70, 933–959. Recuperado de [file:///C:/Users/PC/Downloads/254-1270-1-PB \(1\).pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/254-1270-1-PB%20(1).pdf)

Ecured. (2008). *Acrodinia Contenido Etiopatogenia Edad Anatomía patológica Síntomas*. Retrieved from <https://www.ecured.cu/Acrodinia>

Español, S. (2012). Contaminación por mercurio por la actividad minera. *Biomédica Instituto Nacional de Salud*, 32, 3–6. Recuperado de <http://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/1437>

Farina, M., Rocha, T., y Aschner, M. (2012). Mechanisms of methylmercury-induced neurotoxicity: evidence from experimental studies. *Life Sciences*, 89(15–16), 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2011.05.019>.Mechanisms

Fernandes, B. Barros, L., maciel, F. Wiggers, G., Frizera Vassallo, P., Ronacher Simões, M., Fiorim, J., Rossi de Batista, P.,..., y Vassallo, D. (2012). Toxic Effects of Mercury on the Cardiovascular and Central Nervous Systems. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2012/949048>

Ferreira, L., Durán, R., y Pallares, M. (2010). *El mercurio como contaminante ambiental y agente neurotóxico. El mercurio como contaminante ambiental y agente*

neurotóxico. Brasíla: Universidad de Vigo. Recuperado de <http://pallares.webs.uvigo.es/articulos/libro para web web.pdf>

Gaffney, J., y Marley, N. (2014). In-depth review of atmospheric mercury: sources, transformations, and potential sinks. *Energy and Emission Control Technologies, Volume 2*(August 2014), 1–22. <https://doi.org/10.2147/EECT.S37038>

García, A., Parejo, A., Vela, L. y Coronado, L. (2015). Presencia de mercurio en la especie *Pimelodus grosskopfii* “Capaz” en el departamento del Huila. *Revista Ingeniería Y Región*, 13(32), 47–56. Recuperado de <http://journalusco.edu.co/index.php/IngenieriayRegion/article/view/773>

Gilbert, S., y Grant, K. (1995). Neurobehavioral effects of developmental methylmercury exposure. *Environmental Health Perspectives*, 103(SUPPL. 6), 135–142. <https://doi.org/10.1289/ehp.95103s6135>

González, M., Bodas, A., Rubio, M., Martell, N., Trasobares, E., Ordóñez, J., ... y Calle, A. (2014). Efectos sobre la salud del metilmercurio en niños y adultos; estudios nacionales e internacionales. *Nutrición Hospitalaria*, 30(5), 989–1007. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.30.5.7728>

Greenfacts, organization. (2017). *Metilmercurio*. Recuperado de <http://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/metilmercurio.htm>

Guarnizo, M. (2007). *Caracterización seminal y ensayos preliminares de criopreservación de semen de bagre rayado (Pseudoplatystoma fasciatum - Linnaeus 1766)*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/701/2/0202521.2007.pdf>

Guillén, J. (2015). Documento de consenso sobre la prevención de la exposición al metilmercurio en España. *Revista Salud Ambiental*, 15(1), 54–56. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.8392>

Güiza, L., y Aristizábal, J. (2013). *Mercury and gold mining in colombia: A failed state. Universitas Scientiarum* (Vol. 18). <https://doi.org/10.11144/javeriana.SC18-1mgmc>

Ha, M., Kwon, H.-J., Lim, M.-H., Jee, Y.-K., Hong, Y.-C., Leem, J.-H., ... y Jo, S.-J. (2009). Low blood levels of lead and mercury and symptoms of attention deficit hyperactivity in children: a report of the children's health and environment research (CHEER). *Neurotoxicology*, 30(1), 31–6. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2008.11.011>

Hong, Y. Kim, Y., y Lee, K. (2012). Methylmercury exposure and health effects. *Journal of Preventive Medicine and Public Health = Yebang Ŭihakhoe Chi*, 45(6), 353–63. <https://doi.org/10.3961/jpmph.2012.45.6.353>

Kamman, N., Burgess, N., Driscoll, C., Simonin, H., Goodale, W., Linehan, J., ... y Scruton, D. (2005). Mercury in Freshwater Fish of Northeast North America – A Geographic Perspective Based on Fish Tissue Monitoring Databases. *Ecotoxicology*, 14, 163–180. <https://doi.org/10.1007/s10646-004-6267-9>

Kim, M., y Zoh, K. (2012). Fate and transport of mercury in environmental media and human exposure. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 45(6), 335–343. <https://doi.org/10.3961/jpmph.2012.45.6.335>

Lasso, C., Agudelo, E., Jiménez, L., Ramírez, H., Morales, M., Ajiaco, R. Gutiérrez, F., ... Sanabria, A. y (Editores). (2011). *i. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Serie Recursos Hidrobiológicos y pesqueros Continentales*

de Colombia. Bogotá D. C. Recuperado de file:///D:/INFORME FINAL/ARTICULOS INFORME FINAL/ARTICULOS REFERENCIAS/REFERENCIA_15.pdf

León, D. y Peñuela, G. (2011). Trascendencia del metilmercurio en el ambiente , la alimentación y la salud humana. *Produccion + Limpia*, 6(2), 108–117. Recuperado de from <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v6n2/v6n2a10.pdf>

Li, P., Feng, X., y Qiu, G. (2010). Methylmercury exposure and health effects from rice and fish consumption: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(6), 2666–2691. <https://doi.org/10.3390/ijerph7062666>

Llorente, M. Virseda, I. Peral, R. Sanz, M. Ruiz, M., y López, J. (2011). Metilmercurio en el cabello de población infantil, 67(3), 299–303. <https://doi.org/10.4321/S1887-85712011000400007>

Looi, L., Aris, A., Haris, H., Yusoff, F., y Hashim, Z. (2016). The levels of mercury, methylmercury and selenium and the selenium health benefit value in grey-eel catfish (*Plotosus canius*) and giant mudskipper (*Periophthalmodon schlosseri*) from the Strait of Malacca. *Chemosphere*, 152, 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.126>

Maldonado-Ocampo, J. Vari, R., y Saulo Usma, J. (2008). Checklist of the Freshwater Fishes of Colombia. *Biota Colombiana*, 9(2), 143–237. Recuperado de file:///C:/Users/PC/Downloads/Checklist of the Freshwater Fishes of Colombia.pdf

Mancera-rodríguez, N., y Álvarez-león, R. (2006). estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biologica Colombiana*, 11, núm. 1, 3–23. Recuperado de from <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v11n1/v11n1a01.pdf>

Manzur, F., Suarez, A., y Moneriz, C. (2006). Efectos y controversias de los ácidos grasos omega-3. *Revista Colombiana de Cardiología*, 13(3), 180–184. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcca/v13n3/v13n3a7.pdf>

Marrugo, J. Lans, E. y Benítez, L. (2007). Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel Cordoba, Colombia. *MVZ Cordoba*, 12(July 2004), 878–886. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/mvz/v12n1/v12n1a03.pdf>

Marrugo, J., Olivero, J., Lans, E., y Benítez, L. (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>

Martínez, F. (2011). *Desempeño de Post-larvas de bagre rayado (Pseuáplailstoma sp.) y yagre productos del curce macho rayado (Pseuáplailstoma sp.) por hembra de yagre (Leiarius marmoratus) Gill. 1871, durante un acodicionamiento alimentario (peces, Siluriformes, pimelodidae*. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Recuperado de <http://repository.udca.edu.co:8080/jspui/bitstream/11158/135/1/203148.pdf>

McCloskey, J., Schultz, I., y Newman, M. (1998). Estimating the Oral Bioavailability of Methylmercury To Channel Catfish (*Ictalurus Punctatus*). *Enviromental Toxicology and Chemistry*, 17(8), 1524–1529.

Ministerio de la Protección Social, R. de C. Resolution 776 de 2008 (2008). Colombia. Recuperado de https://www.invima.gov.co/images/stories/resoluciones/resolucion_776_2008.pdf

Minoia, C., Ronchi, A., Pigatto, P., y Guzzi, G. (2009). Effects of mercury on the endocrine system. *Critical Reviews in Toxicology*, 39(7), 627. <https://doi.org/10.1080/10408440903055353>

Mocevic, E., Specht, I., Marott, J., Giwercman, A., Jönsson, B., Toft, G., ... y Bonde, J. (2013). Environmental mercury exposure, semen quality and reproductive hormones in Greenlandic Inuit and European men: a cross-sectional study. *Asian Journal of Andrology*, 15(1), 97–104. <https://doi.org/10.1038/aja.2012.121>

Mojica, J. Usa, J. Alvarez, R. y Lasso, C. (2012). *Lobro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia (2012)*. (J. I. M. [et Al.], Ed.), *Uma ética para quantos?* (Primera Ed, Vol. XXXIII). Bogota D.C. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Molina, C., Arango, C., y Serna, M. (2003). Mercurio : implicaciones en la salud y el medio ambiente. *Retel, Revista de Tecnoligía En Linea*, 7–19. Recuperado de <http://anea.org.mx/docs/Barraza-Natura.pdf>

Mozaffarian, D. Shi, P. Morris, S. Spiegelman, D. Grandjean, P. Siscovick, D. Willett, W. y Rimm, E. (2011). Mercury Exposure and Risk of Cardiovascular Disease in Two U.S. Cohorts. *New England Journal of Medicine*, 364(12), 1116–1125. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3082949/>

Myers, G., y Davidson, P. (1998). Prenatal methylmercury exposure and children: Neurologic, developmental, and behavioral research. *Environmental Health Perspectives*, 106(SUPPL. 3), 841–847. <https://doi.org/10.1289/ehp.98106841>

National, Research Council (US) Committee, on the T. E. of M. (2000). *Toxicological effects of methylmercury*. Washington, DC: National Washington, DC: Recuperado de <http://www.nap.edu/catalog/9899.html>

National Research Council. (2000). *Toxicological effects of methylmercury*. Washington, DC: National <https://doi.org/10.17226/9899>

Alcaldía de Nechí, (2017). Información general del municipio de Nechí. Recuperado de http://www.nechi-antioquia.gov.co/informacion_general.shtm

Nelson, J. S. (2006). *Fishes of the World* (Cuarta Edición). Ottawua: Wiley. Recuperado de <https://books.google.es/books?id=exTV-GLnCB4C>

Oliveira, C., Rodrigues, D., Freitas, M., Da Silva, A., Silva, G., y Nascimento, M. (2014). Concentração de mercúrio total (Hg-T) em peixes comercializados em diferentes períodos sazonais no Mercado do Ver-o-Peso, Belém, Estado do Pará, Brasil. *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, 5(1), 53–60. <https://doi.org/10.5123/S2176-62232014000100006>

Olivero, J. Young, F., y Caballero, K. (2014). Contaminación por mercurio en aire del distrito menor de San Matín de Loba departamento de Bolívar, Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(1), 7–13. Recuperado de [file:///C:/Users/PC/Downloads/CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN AIRE DEL DISTRITO MINERO DE SAN MARTÍN DE LOBA EN EL DEPARTAMENTO DE B.pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/CONTAMINACIÓN%20POR%20MERCURIO%20EN%20AIRE%20DEL%20DISTRITO%20MINERO%20DE%20SAN%20MARTÍN%20DE%20LOBA%20EN%20EL%20DEPARTAMENTO%20DE%20B.pdf)

Olivero, J. (2013). *Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana*.

Pal, M., Ghosh, S., Mukhopadhyay, M., y Ghosh, M. (2012). Methyl mercury in fish—a case study on various samples collected from Ganges river at West Bengal. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(6), 3407–3414. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2193-5>

Peña, C., Cartes, D., y Ayala, F. (2001). *Toxicología Ambiental, Evaluación de riesgos y restauración ambiental*. *Clinical Infectious Diseases* (Vol. 22). Recuperado de

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=8824972

Posada, M., Arroyave, M. (2006). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Revista EIA*, 6, 57–67.

Poulin, J., y Gibb, H. (2013). Mercurio: evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local / editado por Annette Prüss-Üstün, *Serie Carg*, 2pp. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78130/1/9789243596570_spa.pdf

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), P. Q. (2005). *Evaluación mundial sobre el mercurio*. Ginebra. Recuperado de <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/Publications/final-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf>

Programa Nacional de Riesgos Químicos. (2007). *Mercurio: cartilla de Información. Movimiento Mundial Para el Cuidado de la Salud libre de Mercurio*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://www.fmed.uba.ar/depto/toxico1/mercurio.pdf>

Raimann, X., Rodríguez, L., Chávez, P., y Torrejón, C. (2014). Mercurio en pescados y su importancia en la salud. *Revistas Médica de Chile*, 142, 1174–1180. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872014000900012>

Ramirez, M. Galvan, A., y Castro, J. (2004). La contaminación por mercurio en México. *Gaceta Ecológica*, 72, 21–34. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/539/53907202.pdf>

Ramírez, A. V. (2008). Intoxicación ocupacional por mercurio. *An Fac Med.*, 69(1), 46–51. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v69n1/a10v69n1.pdf>

Ramos, O., Guevara, N., Macias, B., y Ortiz, Y. (2003). Evaluacion De Riesgo a La Salud Por La Presencia De Metales Pesados En Pescado De El “Laguito” De Nuevo Laredo Tamulipas. *Environmental Toxicology and Risk Assessment*, 1–8. Recuperado de http://web.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/QA/EC/QAC-08.pdf

Repetto, M., y Camean, A. (1995). *Toxicología avanzada*. (M. Repetto, Ed.). Madrid: Díaz de Santos. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=opad2FFk9g0C>

Rice, K. M., Walker, E. M., Wu, M., Gillette, C., y Blough, E. R. (2014). Environmental mercury and its toxic effects. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 47(2), 74–83. <https://doi.org/10.3961/jpmph.2014.47.2.74>

Richs, M., y Fredicksen, A. (2015). *Mercury and Methylmercury in Reservoirs in Indiana* (Professional Paper 183). Virginia, Estados Unidos de America. Recuperado de <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1813>

Rodrigues, M. Gomes, N. Peixoto, M. Rodrigues, W. Rodrigues, M. Pires, D. Higino, M. Barbosa, I. Sacardi, M., y Fulan, A. (2014). Bioaccumulation of methylmercury in fish from the Roosevelt River, Southwestern Amazon basin. *Revista Ambiente E Agua*, 9(3), 445–458. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>

Ruelas, J., Horvat, M., Pérez, H., y Páez, F. (2003). Methylmercury and total mercury distribution in tissues of gray whales (*Eschrichtius robustus*) and spinner dolphins (*Stenella longirostris*) stranded along the lower Gulf of California, Mexico. Distribución de metilmercurio y mercurio en tejidos de bal. *Ciencias Marinas*, 29(1), 1–8. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/480/48029102/>

Sabath, E., y Robles, M. (2012). Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados. *Revista Nefrología: Publicación Oficial de La Sociedad Española Nefrología*, 32(3), 279–86. <https://doi.org/10.3265/Nefrologia.pre2012.Jan.10928>

Seixas, T., Moreira, I., Siciliano, S., Malm, O., y Kehrig, H. (2014). Differences in methylmercury and inorganic mercury biomagnification in a tropical marine food web. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92(3), 274–8. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1208-7>

Servicio Estadístico Pesquero Colombiano (SEPEC). (2016). *Informe gráfico de capturas desembarcadas*. Bogota D:C.

Sheehan, M. Burke, T. Navas-Acien, A. Breyse, P. McGready, J., y Fox, M. (2014). WHO | Global methylmercury exposure from seafood consumption and risk of developmental neurotoxicity: a systematic review. *Boletín de La Organización Mundial de La Salud*, 92, 254.269. Recuperado de <http://www.who.int/bulletin/volumes/92/4/12-116152/en/#.VjaVhf0eg8Y.mendeley>

Skytte, L., Lauritsen, A., Boldsen, J. L., y Thomsen, P. O. (2013). The distribution of mercury and other trace elements in the bones of two human individuals from medieval Denmark -- the chemical life history hypothesis. *Heritage Science*, 1(1), 10. <https://doi.org/10.1186/2050-7445-1-10>

Squadrone, S., Benedetto, A., Prearo, M., y Abete, M. (2015). Mercury and selenium in European catfish (*Silurus glanis*) from Northern Italian Rivers: Can molar ratio be a predictive factor for mercury toxicity in a top predator? *Chemosphere*, 119(September 2016), 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.052>

Sternhagen, A., Davidsen, M., y Bjerregaard, P. (2012). The association between blood pressure and whole blood methylmercury in a cross-sectional study among Inuit in Greenland. *Environmental Health*, 11(July), 44. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-44>

Tandon, S. K., y Magos, L. (1980). Effect of kidney damage on the mobilisation of mercury by thiol-complexing agents. *British Journal of Industrial Medicine*, 37(2), 128–32. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6252946>

Torrente, M., Colomina, M. T., y Domingo, J. (2005). Metal concentrations in hair and cognitive assessment in an adolescent population. *Biological Trace Element Research*, 104(3), 215–221. <https://doi.org/10.1385/BTER:104:3:215>

Trujillo, F., Lasso, C., Diazgranados, M., Farina, O., Pérez, L., Barbarino, A., y González, M. (2010). Evaluación de la contaminación por mercurio en peces de interés comercial y de la concentración de organoclorados y organofosforados en el agua y sedimentos de la orinoquía. *Biodiversidad de La Cuenca Del Orinoco: Bases Científicas Para La Identificación de Áreas Prioritarias Para La Conservación Y Uso Sostenible de La Biodiversidad*, 175–191. Recuperado de <http://cdn.eluniversal.com/2013/03/02/amazonas.pdf>

US EPA. (2007). Mercury total (organic and 7439-97-6 inorganic). *Methods*. Recuperado de <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-7473.pdf>

Valle, P., y Lucas, B. (2000). *Toxicología de alimentos*. Instituto Nacional de Salud Pública. Centro Nacional de Salud Ambiental. Mexico DF. Recuperado de <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Toxicologiaderaliemnatosar.pdf>

Vásquez, M. (2014). *Mecanismos de transporte y toxicidad intestinal de especies de mercurio presentes en los alimentos*. Programa de Doctorado en Ciencias de la

Alimentación. Universidad de Valencia.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Waliszewski, S., y Infanzón, R. (2001). El metilmercurio una amenaza para la salud humana, 15–27.

Weinberg, J. (2010). *Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG*. Recuperado de [http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/INC2/IPEN NGO Guide to Mercury Pollution_Spanish.pdf](http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/INC2/IPEN%20NGO%20Guide%20to%20Mercury%20Pollution_Spanish.pdf)

World Health Organization, (WHO), (1990). *Methylmercury in Environmental Health Criteria 101. Environmental Health Criteria*. Genova, Italia. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/38082/1/9241571012_eng.pdf

Yacuzzi, E. (2008). *Corporación Chisso y la enfermedad de Minamata* (Vol. 4575). Buenos Aires.

Yokoo, E. M., Valente, J. G., Grattan, L., Schmidt, S. L., Platt, I., y Silbergeld, E. K. (2003). Low level methylmercury exposure affects neuropsychological function in adults. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 2(1), 8. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-2-8>

Yoshizawa, K., Rimm, E., Morris, J., Spata, V., Hsieh, C., Spiegelman, D., ... y Willett, W. (2002). Mercury and the Risk of Coronary Heart Disease in Men. *The New England Journal of Medicine*, 347(22), 1755–1760. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa021437>

Zahir, F., Rizwi, S., Haq, S., y Khan, R. (2005). Low dose mercury toxicity and human health. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 20(2), 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2005.03.007>

Zhu, H., Yan, B., Cao, H., y Wang, L. (2012). Risk assessment for methylmercury in fish from the Songhua River, China: 30 years after mercury-containing wastewater outfalls were eliminated. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(1), 77–88. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-1948-3>

Zhu, X., Kusaka, Y., Sato, K., y Zhang, Q. (2000). The endocrine disruptive effects of mercury. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 4(4), 174–183. <https://doi.org/10.1007/BF02931255>

Apéndices

Anexo A. Certificación publicación capítulo de libro



EL EDITOR INSTITUCIONAL
DE LA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA LASALLISTA

Hace constar que

El capítulo de libro titulado: "Evaluación de la contaminación por metilmercurio en bagre rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum*) del área de pesca entre el corregimiento Bijagüal y la zona urbana de Nechí y los humedales El sapo y Bijagüal del río Nechí, factor de riesgo químico que afecta la calidad de la especie", escrito por el estudiante de la Maestría en Gestión de la Calidad de los Alimentos CARLOS JOSÉ CABALLERO PEREIRA será publicado en el libro: Alimentación, calidad y salud con ISBN 978-958-8406-66-4.

Esta constancia se expide a los 17 días del mes de agosto de 2017.

Atentamente,

PhD. LUIS FERNANDO GARCÉS GIRALDO
Vicerrector de Investigación
Editor Institucional

Anexo B. Soporte del radicado Secretaria Seccional de Salud de Antioquia

Caldas, Antioquia 15 de agosto de 2017

Señores
Secretaría Seccional de Salud de Antioquia
Gobernación de Antioquia
Medellín

Radicado: R 2017010304322
Fecha: 2017/08/17 3:38 PM
Tpo: SOLICITUD
MARCO AURELIO ORTEGA COLONIA



Cordial saludo,

De manera atenta y con este comunicado les solicito una reunión para la socialización de los resultados del Proyecto denominado: *"Evaluación de la contaminación por metilmercurio en bagre rayado de algunos sitios de pesca del río Nechí"*, con el propósito de cumplir los objetivos planteados en dicho estudio realizado por el estudiante de Maestría en Gestión de la Calidad de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista, Carlos José Caballero Pereira.

Adjunto boletín informativo para conocimiento de los resultados de dicho proyecto, este boletín es elaborado por el estudiante. Por favor comunicarme la respuesta al correo electrónico posgrados@lasallista.edu.co

Quedo atenta de la respuesta, mil gracias.

M. CAROLINA DOMÍNGUEZ G
MARÍA CAROLINA DOMÍNGUEZ GUAL
Directora de Posgrados

Anexo C. Soporte del radicado Secretaría de Medio Ambiente de Antioquia



Caldas, Antioquia 15 de agosto de 2017

Señores
Secretaría Seccional de Salud de Antioquia
 Gobernación de Antioquia
 Medellín

Radicado: R 2017010304322
Fecha: 2017/08/17 3:38 PM
 Tpo: SOLICITUD
 MARCO AURELIO ORTEGA COLONIA



Cordial saludo,

De manera atenta y con este comunicado les solicito una reunión para la socialización de los resultados del Proyecto denominado: *"Evaluación de la contaminación por metilmercurio en bagre rayado de algunos sitios de pesca del río Nechí"*, con el propósito de cumplir los objetivos planteados en dicho estudio realizado por el estudiante de Maestría en Gestión de la Calidad de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista, Carlos José Caballero Pereira.

Adjunto boletín informativo para conocimiento de los resultados de dicho proyecto, este boletín es elaborado por el estudiante. Por favor comunicarme la respuesta al correo electrónico posgrados@lasallista.edu.co

Quedo atenta de la respuesta, mil gracias.

M. CAROLINA DOMÍNGUEZ G
 MARÍA CAROLINA DOMÍNGUEZ GUAL
 Directora de Posgrados

Anexo D. Soporte del radicado Secretaría de Salud de Medellín

Caldas, Antioquia 15 de agosto de 2017



Señores
Secretaría de Salud
Municipio de Medellín
Medellín

ARCHIVO GENERAL TAQUILLA 1
Radicado: 201710216783
Fecha: 2017/08/17 3:15 PM
Responsable: MELVA MARIA ALVAREZ A
SECRETARÍA DE SALUD



Cordial saludo,

De manera atenta y con este comunicado les solicito una reunión para la socialización de los resultados del Proyecto denominado: *"Evaluación de la contaminación por metilmercurio en bagre rayado de algunos sitios de pesca del río Nechí"*, con el propósito de cumplir los objetivos planteados en dicho estudio realizado por el estudiante de Maestría en Gestión de la Calidad de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista, Carlos José Caballero Pereira.

Adjunto boletín informativo para conocimiento de los resultados de dicho proyecto, este boletín es elaborado por el estudiante. Por favor comunicarme la respuesta al correo electrónico posgrados@lasallista.edu.co

Quedo atenta de la respuesta, mil gracias.

M. CAROLINA DOMÍNGUEZ G
MARÍA CAROLINA DOMÍNGUEZ GUAL
Directora de Posgrados

Anexo E. Soporte del radicado Secretaria de Medio Ambiente de Medellín

Caldas, Antioquia 15 de agosto de 2017

Señores
Secretaría de Medio Ambiente
Municipio de Medellín
Medellín

ARCHIVO GENERAL TAQUILLA 1
Radicado: 201710216790

Fecha: 2017/08/17 3:16 PM
Responsable: LUZ ARGENZ MEJIA SALINAS
SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE



Cordial saludo,

De manera atenta y con este comunicado les solicito una reunión para la socialización de los resultados del Proyecto denominado: *"Evaluación de la contaminación por metilmercurio en bagre rayado de algunos sitios de pesca del río Nechí"*, con el propósito de cumplir los objetivos planteados en dicho estudio realizado por el estudiante de Maestría en Gestión de la Calidad de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista, Carlos José Caballero Pereira.

Adjunto boletín informativo para conocimiento de los resultados de dicho proyecto, este boletín es elaborado por el estudiante. Por favor comunicarme la respuesta al correo electrónico posgrados@lasallista.edu.co

Quedo atenta de la respuesta, mil gracias.

M. CAROLINA DOMÍNGUEZ G
MARÍA CAROLINA DOMÍNGUEZ GUAL
Directora de Posgrados

Anexo F. Soporte oficio enviado Secretaria de Salud de Nechí



Caldas, Antioquia 15 de agosto de 2017

Señores
Secretaría de Salud
 Municipio de Nechí
 Medellín

Cordial saludo,

De manera atenta y con este comunicado les solicito una reunión para la socialización de los resultados del Proyecto denominado: *"Evaluación de la contaminación por metilmercurio en bagre rayado de algunos sitios de pesca del río Nechí"*, con el propósito de cumplir los objetivos planteados en dicho estudio realizado por el estudiante de Maestría en Gestión de la Calidad de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista, Carlos José Caballero Pereira.

Adjunto boletín informativo para conocimiento de los resultados de dicho proyecto, este boletín es elaborado por el estudiante. Por favor comunicarme la respuesta al correo electrónico posgrados@lasallista.edu.co

Quedo atenta de la respuesta, mil gracias.

M. CAROLINA DOMÍNGUEZ G
MARÍA CAROLINA DOMÍNGUEZ GUAL
 Directora de Posgrados

Servientegui S.A. N° 863.512.330-2 Principal Bogotá D.C. Colombia Av Calle 6 No 34-A-11 Atención al cliente: www.servientegui.com PBX: 7 700 200 FAX: 7 700 380 ext: 110245, Grandes Clientes: Resolución DIAN 00041 del 23 de mayo de 2014. Autorización Resol. DIAN 00096 de Nov 24 2002. Responsable y Retenedora de IVA. Factura por computador Resolución DIAN: 1676304238681, 31/07/2017. Prefijo 009 desde el 96304001 al 96502000		Fecha: 17/08/2017 16:44 Punto Prop. Entrega //	
Código CDS/SE: 1 - 40 - 20 CRA 51 # 118 SUR 57 CALDAS // CORPORACION UNIVERSITARIA LASALLISTA		Factura 963178442	
Tel/cel: 3201999 Cod. Postal: 053440 Ciudad: MEDELLIN Dpto: ANTIOQUIA País: COLOMBIA D.L/NIT: 3201999		FORMA DEL REMITENTE (NOMBRE LEGIBLE Y D.U.) NEC 142 DOCUMENTO UNITAR PZ: 1 Ciudad: NECHÍ ANTIOQUIA F.P. CONTADO NORMAL M.T. TERRESTRE	
CALIDAD DEL SERVICIO DEL ENVÍO: 1 INTENTO DE ENTREGA No NOTIFICACIÓN 1 Desconocido 1 HORA / DÍA / MES / AÑO 2 Refusado 2 HORA / DÍA / MES / AÑO 3 No Reclamado 3 HORA / DÍA / MES / AÑO Dirección Errada FECHA DEVOLUCIÓN A REMITENTE Otro (Indicar cuál) HORA / DÍA / MES / AÑO		DESTINATARIO PARCQUE PFL NECHÍ ALCALDIA SEDE ADMINISTRATIVA SECRETARIA DE SALUD / SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Tel/cel: 8868585 D.L/NIT: 8868585 País: COLOMBIA Cod. Postal: 052420 e-mail:	
RECIBI A CONFORMIDAD (NOMBRE LEGIBLE, SELLO Y D.U.) Observaciones en la entrega:		Dto Contenedor: DTCS/SS Día de entrega V. Declarado: \$ 5.000 V. Flete: \$ 0 V. Sobrecargo: \$ 330 V. Mensajero expreso: \$ 13.900 V. Total: \$ 14.260 V. a Cobrar: \$ 0	
Factura No. 963178442 FECHA Y HORA DE ENTREGA, HORA / DÍA / MES / AÑO		Vol (Pz): // Peso Pz (Kg): Peso (Vol): Peso (Kg): 1,00 No. Remisión: No. Bolsa seguridad: No. Sobreporte: Guía Retorno Sobreporte:	
El usuario del sistema garantiza que los contenidos de los servicios que se encuentran alojados en la página web de Servientegui S.A. cumplen con la Ley 1712 de 2014 y en los términos establecidos en los Centros de Soluciones, que regula el servicio electrónico entre las partes, cuyo contenido detallar podrá expresamente con la autorización de este sitio, punto, así mismo garantiza con el presente Aviso de Privacidad y Acceptor a Partes de Atención al Cliente. Para más información consulte el sitio web. Para la protección de datos, leyes y políticas envíelas al correo web@servientegui.com o a la línea telefónica (1) 7700200.		Quien firma: JHON ALEXANDER ARBELAEZ MANCO	

Anexo G. Soporte oficio enviado Alcaldía municipal de Nechí



Caldas, Antioquia 15 de agosto de 2017

Señores
Alcaldía de Nechí
 Municipio de Nechí

Cordial saludo,

De manera atenta y con este comunicado les solicito una reunión para la socialización de los resultados del Proyecto denominado: *"Evaluación de la contaminación por metilmercurio en bagre rayado de algunos sitios de pesca del río Nechí"*, con el propósito de cumplir los objetivos planteados en dicho estudio realizado por el estudiante de Maestría en Gestión de la Calidad de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista, Carlos José Caballero Pereira.

Adjunto boletín informativo para conocimiento de los resultados de dicho proyecto, este boletín es elaborado por el estudiante. Por favor comunicarme la respuesta al correo electrónico posgrados@lasallista.edu.co

Quedo atenta de la respuesta, mil gracias.

M. CAROLINA DOMÍNGUEZ G
MARÍA CAROLINA DOMÍNGUEZ GUAL
 Directora de Posgrados

Servintegro S.A. N° 863.512.330-3 Principal Bogotá D.C. Colombia Av/ Calle E No. 34 A. 11
 Atención al usuario: www.servintegro.com, PBX 7 700 200 FAX 7 700 390 o al 110045. Grandes
 Contribuyentes Resolución DIAN 002041 del 23 enero de 2014. Autorizaciones Resol
 DIAN 09698 de Nov 24-2003. Responsables y Registrados de IVA. Fecha por computador
 Resolución DIAN: 1876204228651, 31/07/2017. Precio 909 desde el 983000001 al 965500000

Fecha: 17/08/2017 16:44
 Fecha Prog. Entrega: / /

Factura 963178442

REMITENTE: CRA 51 # 118 SUR 57 CALDAS
 // CORPORACION UNIVERSITARIA LASALLISTA
 Tel/cel: 3201999 Cod. Postal: 055440
 Ciudad: MEDELLIN Depto: ANTIOQUIA
 Pais: COLOMBIA D.I./NIT: 3201999

DESTINATARIO: NEC 142
 DOCUMENTO UNITAR PZ: 1
 Ciudad: NECHI
 ANTIOQUIA F.P.: CONTADO
 NORMAL M.T.: TERRESTRE

CAUSAL	DEVIACION DEL ENVIO	INTENTO DE ENTREGA	RS NOTIFICACION
1	Desconocido	1 HORA / DIA / MES / AÑO	
2	Rechusado	2 HORA / DIA / MES / AÑO	
3	No Reclamado	3 HORA / DIA / MES / AÑO	
	Dirección Errada	FECHA DIVOLUCION A REMITENTE	
	Otro (Indicar causa)	HORA / DIA / MES / AÑO	

PARQUE PFL NECHI ALCALDIA SEDE ADMINISTRATIVA
 SECRETARIA DE SALUD / SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE
 Tel/cel: 8868585 D.I./NIT: 8868585
 Pais: COLOMBIA Cod. Postal: 052420
 E-mail:

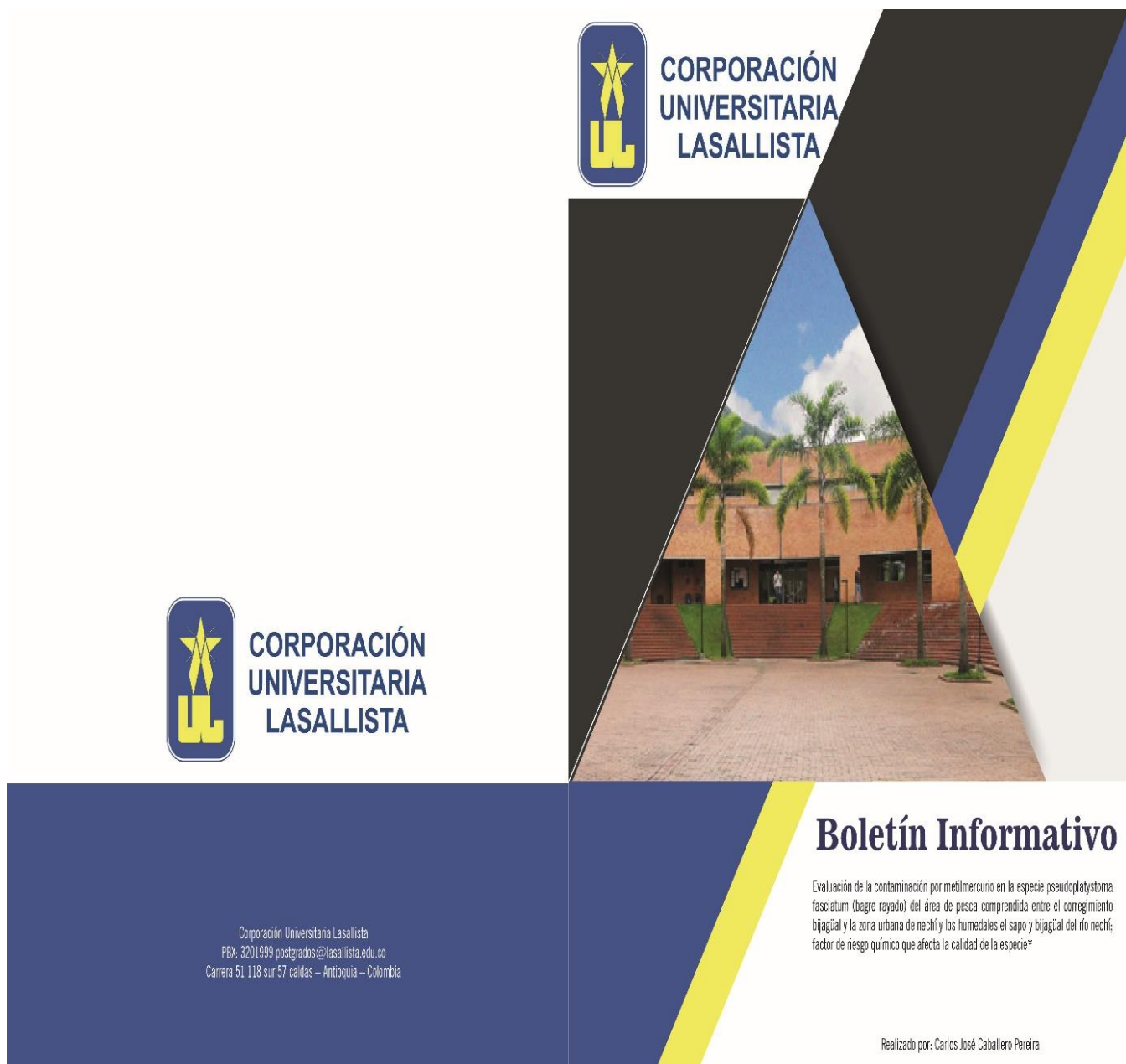
Factura No. 963178442
 Vols Contador: 01235555
 Obs. para entrega:
 Vr. Declaración: \$ 5.000
 Vr. Flete: \$ 0
 Vr. Sobretarifa: \$ 300
 Vr. Mensajería expresa: \$ 13.900
 Vr. Total: \$ 14.200
 Vr. a Cobrar: \$ 0

Vol (Pz): / / Peso Pz (Kg):
 Peso (Vol): Peso (Kg): 1,00
 No. Remisión:
 No. Bolsa seguridad:
 No. Sobreporte:
 Guía Retorno Sobreporte:

RECEBI A CONFORMIDAD (NOMBRE LEGIBLE, SELLO Y D.U.)
 Observaciones en la entrega:

© 2015 Servintegro S.A. Reservados todos los derechos. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad en su formato original. Autor: de Privacidad y Acceso a Datos de
 Información de Datos Personales de acuerdo a la Ley 1712 de 2014. Para la presentación de reclamos, quejas y notificaciones contactar al correo atencion@servintegro.com o a la línea telefónica (1) 7700200.

Ministerio de Transportes, Licitación No. 800 de Marzo 2008. VENTEC - Licitación No. 1778 de Abril 2008.
 QUIEN RECIBE: JHON ALEXANDER ARBELAEZ MANCO

Anexo H. Portadas Boletín Informativo

Anexo I. Contenido Boletín Informativo

Introducción

En las últimas décadas las preocupaciones se han centrado en la exposición al metilmercurio que contienen los pescados y al mercurio elemental producido de las actividades industriales y mineras.

Es por ello, que algunas organizaciones en el mundo (FDA, USEPA, FAO/OMS, EFSA, EASAN) entre otras, se han preocupado por establecer los niveles máximos de consumo de este agente tóxico y han emitido algunas recomendaciones a cerca del consumo de pescado dirigidas a mujeres embarazadas y población infantil. (Conde, Conde y Carreras, 2015:60).

El alcance de esta investigación fue el de determinar la concentración de metilmercurio en el bagre rayado (*P. fasciatus*) en los siguientes sitios de pesca de río Nechí: Biogajal, Güamal, Caserí, El Sapo y San Pedro.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la contaminación por metilmercurio del Bagre Rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum*) del área de pesca comprendida entre el corregimiento Biogajal y la zona urbana del Municipio de Nechí y los humedales El Sapo y Biogajal de río Nechí, como factor de riesgo que afecta la calidad de esta especie y la Salud Pública de los habitantes de la zona.

Objetivos Específicos

- Determinar el grado de contaminación por metilmercurio en el tejido muscular dorsal, tejido adiposo de la piel dorsal del bagre rayado *P. fasciatum* de las estaciones muestreo a través del método EPA 7374 - 2007.

Tabla 1. Recomendaciones sobre consumo de pescado para mujeres gestantes lactantes o con intención de procrear

Entidad u organismo	Recomendaciones para la mujer gestante, lactante o con intención de procrear
FDA	<ul style="list-style-type: none"> Consumir 2 porciones/semana de una variedad de pescados con niveles bajos de mercurio. Si se consume atún blanco (Albacora), limitar el consumo a una ración semanal, de las dos señaladas. Tener cuidado con el consumo de pescado capturado en lagos o ríos del entorno. Reducir su consumo a una ración semana
COMISIÓN EUROPEA	<ul style="list-style-type: none"> Una porción (<100 g/semana) de pescado grácil: pelecopos, pez espada, tiburón, marlin y lucio. Si se consume dicha ración no deberá consumirse más pescado en ese periodo. Tampoco no deberá consumirse aún más de 2 veces por semana
AESAN	Evitar el consumo de pez espada, tiburón, atún rojo (<i>Thunnus thynnus</i>); especie grande, normalmente consumida en fresco o congelada y fileteada) y lucio
SACN COT	<ul style="list-style-type: none"> Evitar el consumo de pescados como tiburón, pez espada o aguja Limitar a 1 porción de aún fresco (140g) o dos latas de aún de tamaño mediano (140g peso escumbido) a la semana

*Realizado por Carlos José Caballero Pereira, para optar el título de Magíster en Gestión de la Calidad de alimentos bajo la asesoría del profesor Carlos Arturo David Puelles (información: ccabcape@gmail.com)

2. Inferir sobre el riesgo del uso de esta matriz alimentaria a través de los hallazgos y su comparación con los límites permitidos acorde con las normas nacionales e internacionales.

3. Fortalecer el conocimiento de la contaminación por metilmercurio del bagre rayado (*P. fasciatus*), para promover la creación de posibles recomendaciones o lineamientos que informen responsabilmente a la población sobre el riesgo de exposición al tóxico.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio del presente estudio estuvo comprendida en un tramo del río Nechí entre el corregimiento de Biogajal, al casco urbano del municipio de Nechí y los humedales El Sapo y Biogajal. Zona donde se establecieron los siguientes cinco sitios de muestreo: San Pedro, El Sapo, Caserí, Güamal y Biogajal, los cuales se muestran en la figura 1.

Recolección tratamiento de las muestras

Los bagres fueron capturados en los cinco sitios de pesca indicados en el alcance por los pescadores locales, (llevados a la cabecera municipal, donde fueron medidos y pesados y se tomaron las muestras del músculo dorsal). Luego fueron transportados en cajas de isopor a $\pm 4^{\circ}\text{C}$ al laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba, donde fueron analizados en fresco.

Detección de metilmercurio

La detección del metilmercurio de las muestras se realizó por espectroscopía de absorción atómica luego

de la digestión ácida de las mismas.

Cociente de Peligo

El Cociente de Peligo se determinó empleando la relación entre el nivel de exposición o dosis suministrada (E) a una Dosis de Referencia determinado para un período similar de exposición (DR) (Ecuación 1) (Peña, Cortes y Ayza 2001:127-128).

$$CP = E/DR \quad (1)$$

Variable evaluada	Valor promedio
Talla (cm)	37,69 \pm 10,23
Peso (kg)	7,65 \pm 2,24
Concentración MeHg en músculo (µg/kg peso fresco)	1532,937 \pm 1143
Concentración MeHg en piel (µg/kg peso fresco)	501,467 \pm 2,002
Cociente de Peligo	1,58 - 33,904

$$E = (C) \times (W) \quad (2)$$

Donde:

C = Concentración de metilmercurio de la especie estudiada (mg/kg).

I = Ingesta diaria de pescado (g/día).

W = Peso promedio de una persona adulta.

Análisis estadístico

Los resultados para cada muestra se reportan como promedio y sus. Para el análisis de los datos se empleó análisis de varianza de doble vía, donde los factores fueron (estación y época), utilizando un nivel de confianza del 95%, y un nivel de potencia del 80% para determinar diferencias significativas.

Cuando se encontraron diferencias significativas se implementó la técnica de comparaciones múltiples de LSD.

Este análisis fue realizado por el programa Statgraphics Centurion XVII, licenciado por la Corporación Universitaria Lasallista.

Resultados

En la tabla 2, se reportan los valores promedio más o menos la desviación estándar (s) para la talla(cm), peso (kg), las concentraciones de MeHg en músculo y piel (µg/kg peso fresco) y el Cociente de Peligo.

Discusión

La talla y peso promedio obtenidos (7,645 \pm 0,233kg) y (30,891 \pm 0,291cm) respectivamente son mucho menores que los registrados por Álvarez et al., (2012:66), 106cm y 18,12kg, situación que puede ser asociada probablemente al aumento en pesca e la especie durante los últimos años.

La concentración promedio de MeHg total obtenida (1582,937 \pm 1193 µg/kg de peso fresco) es mucho mayor que la registrada por Álvarez et al., (2012:66), 443 µg/kg de peso fresco, diferencia que se puede asociar probablemente al incremento de la actividad aurífera. lo que pudo haber generado una mayor concentración de MeHg en los cuerpos de agua y por lo tanto en la cadena alimentaria.

Por otro lado, la concentración de 1382,937 \pm 1093µg/kg de peso fresco, es más elevada que la reportada por Manjugo et al., (2008:23) (375 \pm 80µgMeHg/kg), en un estudio realizado con pescados (los cuales incluyó el bagre rayado), en la región de la Noche susurrada. Esto quizás se deba a la diferencia que hay entre las talas de los bagres estudiados y a lo distante y diferentes que son las zonas de estudio donde se realizó cada investigación.

Cabe resaltar que la concentración de MeHg obtenida en esta investigación (1582,937 \pm 1093µg/kg de peso fresco), es mucho mayor que el límite máximo recomendado por el Comité del Codex sobre Aditivos y Contaminantes de Alimentos, (FAO/OMS) (2005:8) 1000µg/kg de peso fresco para peces depredadores. La cual, puede ser asociado al gran instinto predator que tiene el bagre rayado durante su crecimiento.

En relación al intervalo del Cociente de Peligo obtenido en este estudio (1,58 - 33,904), estos valores son mayores a los reportados por García, Pareja, Vela y Coronado, (2015:32-33) 21,24 - 156,93 en capaz (*Pimeobodus grossipapilli*) en el Huila. Lo cual quizás se deba a la fuerte presencia de la actividad minera que el río Nechí se

presenta durante algunas épocas del año, más que en otras zonas del país.

Figura 1. Lugares de muestreo



Conclusiones

Los resultados de la concentración promedio total de metilmercurio presente en bagre rayado (*P. fasciatum*) de la zona de pesca comprendida entre el corregimiento de Biogajal y el casco urbano del municipio de Nechí es mayor que los valores recomendados por la norma colombiana (0.5mg/kg), situación que es preocupante, ya que en las zonas de extracción minera y artesanal de oro los pescados altamente contaminados se están desmercantizados y comercializados en los mercados locales y regionales.

Los altos valores del Cociente de Peligo sugieren que existe probablemente un alto riesgo para la salud de la población de la zona de estudio, asimismo la de los grupos vulnerables (mujeres en edad fértil, gestantes o lactantes y adultos mayores), debido a la exposición al metilmercurio asociada al consumo periódico de bagre rayado.

Esta situación debe promover estudios más rigurosos de salud pública y ambiental y por parte de los entes locales y nacionales, con el propósito de generar recomendaciones de alerta sobre el consumo de este tipo de pescado o ayudar a promover normas que regulen el uso del mercurio en la actividad minera.

Recomendaciones

Realizar investigaciones rigurosas y más amplias que busquen determinar las concentraciones de metilmercurio en especies líticas carnívoras y no carnívoras que se extraen de los diferentes sitios de pesca y humedales del río Nechí

Proponer estudios con población vulnerable del área de estudio que ayuden a estimar los efectos sobre la

salud, que está causando la exposición del mercurio y el metilmercurio en las personas, debido a la ingesta frecuente de pescado proveniente del río Nechí.

Por el aporte de nutrientes que tienen los pescados para la salud del hombre, se hace necesario establecer la relación entre mercurio-selenio y demás componentes nutricionales presente en el bagre rayado del río Nechí, para así, establecer las recomendaciones adecuadas del consumo de este pez, que orientan a la población al momento de la selección.

Generar estrategias que involucren al sector minero industrial y artesanal, a implementar una extracción de oro más amigable con el medio ambiente y salud (minería ecológica), que busque reducir las emisiones de mercurio que se están haciendo en el río Nechí.

EFFECTOS DEL MERCURIO SOBRE LA SALUD
El mercurio tiene muchos efectos sobre la salud del hombre, entre los que se resalta los siguientes:

- Neurotóxico
- Sistema inmune
- Teratogénico
- Carcinogénico
- Sistema renal
- Sistema cardíaco
- Sistema digestivo
- La piel

Referencias

Álvarez S, Assiók A, Peláez J y León A. (2012). Metilmercurio y contaminantes en filets fish especies from two Colombian rivers. *Journal of Environmental Contamination and Technology* 68(1): 45-48. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4111-4_9

Comité de Contaminantes Aditivos y Contaminantes de Alimentos, C. del C. (2005). Documento de debate sobre los niveles de referencia para el metilmercurio en el pescado (No. 17). La Haya. Recuperado de <http://www.fao.org/docstore/Meeting2005/2005c23a.doc>, p.26-28.

Conde C, Len, Conde E, y Carreras, G. (2015). Evaluación de la ingesta de pescado en población gestante en relación a la exposición a metilmercurio. *Revista Colombiana de Ginecología y Obstetricia*, 55(3), 36-42. <http://dx.doi.org/10.12873/colombiagynecol.36>

Manjugo A, Parra A, y Waz, L. y Coronado, L. (2008). Presencia de mercurio en el especie *Pimeobodus grossipapilli* "Capaz" en el departamento del Huila. *Revista Ingeniería y Tecnología*, 22(2): 43-56. Recuperado de <http://www.uco.edu.co/revistas/ingetec/ingetec/vol22/2008/03>

Marango J, Lars, E. y Berntsen, L. (2007). Hallazgo de mercurio en pescos de la dragera de Aguajel Córdoba, Colombia. *INIA Córdoba*, 12(1): 404-409-466. Recuperado from <http://www.inia.org.co/pdf/mc/426/426121012007.pdf>

Marango J, Ojeda J, Lars, E. y Berntsen, L. (2008). Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mayara region of Colombia. *Environment Geochemistry and Health*, 30(1), 27-30. <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-007-9194-2>

Peña, C. E., Cortes, D. E., y Ayza-Piñán, F. (2001). Toxicología Ambiental: Evaluación de riesgo y restauración ambiental. *Guía del Médico Interno* Vol. 22. Recuperado de <http://www.monografias.com/temas/toxicologia/toxicologia.html>

Peña C, Cortes D, Ayza P. (2001) <http://www.monografias.com/temas/toxicologia/toxicologia.html>

