

**ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN PECES IMPORTADOS  
EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA Y RIESGO POTENCIAL PARA LA SALUD  
HUMANA**

**EVA MERCEDES ALTAHONA CARMONA  
KEIRY LAURA MOVILLA SALAZAR**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental**

**Director  
MSc. FABIO ARMANDO FUENTES GANDARA**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC**

**BARRANQUILLA -- ATLÁNTICO**

**MAYO, 2016**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO  
UNIVERSIDAD DE LA COSTA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

ACTA N°: 17  
DE SUSTENTACIÓN DE PROYECTO DE GRADO

En la Universidad de la Costa, CUC, siendo las 10:00 am. horas, del día 24 de Mayo del año 2016 en cumplimiento de lo señalado en el Acuerdo 237, se presentó el(los) estudiante(s):

EVA ALTAHONA CARMONA

KEIRY MOVILLA SALAZAR

Con el fin de sustentar el proyecto de grado titulado:

ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN PECES IMPORTADOS EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA Y RIESGO POTENCIAL PARA LA SALUD HUMANA

Firma del(los)  
interesado(s)

*Eva Althona Carmona*

*Keiry Movilla S.*

Ante el comité evaluador, integrado por:

Asesor: FABIO FUENTES GANDARA

Evaluador: RUBEN CANTERO RODELO

Evaluador: LEANDRO GOMEZ PLATA

Concluida la presentación y la defensa oral, el comité evaluador dictaminó otorgarle una calificación de\* 4,2

El Director de Programa le hizo saber al sustentante el resultado obtenido

*F.F. Nandy Morgado*

Nombre de Asesor

*Ruben Cantero R.*

Nombre de evaluador

*L.G.P.*

Nombre de evaluador

*W.B.M.*

Director de Programa

\*Opciones de calificación: cinco, cuatro, tres, no aprobada, incompleto

## **Dedicatoria**

A Dios por permitirnos llegar a esta etapa tan significativa de nuestras vidas, permitirnos cumplir nuestras metas y llegar a conocernos. A nuestros padres y familiares por ser ejemplos claros de perseverancia y constancia en el recorrido de nuestra carrera, por sus consejos, valores y por ser el apoyo incondicional en cada uno de los pasos trazados, siendo la energía necesaria para continuar y el motor principal en nuestro accionar.

## **Agradecimientos**

A Dios por ser el motivo principal de nuestra existencia, a la naturaleza y al campo potencial por brindarnos la energía necesaria para lograr nuestras metas en concordancia con nuestros propósitos y perseverancia.

A nuestros padres por ser la guía imperante y constante en el camino emprendido al empezar esta carrera profesional, por su apoyo incondicional, sus consejos y valores.

A nuestro director del trabajo de grado Fabio Fuentes, por direccionarnos a trabajar bajo su orientación y apoyo constante en la ejecución de la investigación.

A nuestros familiares que siempre estuvieron presentes en el transcurso de nuestra carrera y nos ven crecer profesionalmente, por sus consejos, motivaciones y deseos de éxito hacia nosotras.

A la Universidad de la Costa, CUC y a la Universidad de Córdoba por el apoyo económico y analítico en la realización de la presente investigación.

A nuestros amigos por colaborarnos a lo largo de la investigación y encuestas realizadas.

A todas las personas que colaboraron directa e indirectamente para que este proyecto pudiese ser realidad.

## Tabla de Contenidos

Resumen.....	1
1. Introducción .....	4
2. Objetivos.....	8
2.1. Objetivo General.....	8
2.2. Objetivos Específicos.....	8
3. Marco Teórico y Estado del Arte.....	9
3.1. Antecedentes .....	9
3.2. Marco Teórico.....	17
3.2.1. Mercurio.....	17
3.2.2. Ciclo del Mercurio .....	19
3.2.3. El mercurio en el agua. ....	21
3.2.4. Distribución de mercurio en los tejidos de los peces.....	21
3.2.5. Clasificación de las especies en estudio.....	24
3.2.5.1 <i>Bocachico Argentino (Prochilodus lineatus)</i> .....	24
3.2.5.2 <i>Basa (Pangasius hypophthalmus)</i> .....	25
3.2.5.3 <i>Bocachico venezolano (Prochilodus reticulatus)</i> .....	25
3.2.5.4 <i>Sardina Van Premium Camp's</i> .....	26
3.2.5.5. <i>Atún Medalla de Oro</i> .....	26
3.2.6. Exposición y efectos del mercurio en seres humanos.....	27
4. Diseño metodológico .....	31
4.1. Recolección y pretratamiento de las muestras .....	31

4.2.	Determinación de mercurio total .....	33
4.3.	Aplicación de encuestas .....	34
4.4.	Riesgo potencial.....	34
4.5.	Análisis estadísticos .....	36
5.	Resultados y Análisis .....	37
5.1.	Control de calidad del método .....	37
5.2.	Concentraciones de mercurio (Hg) en especies de peces .....	37
5.2.1.	Comparación de las concentraciones de Hg obtenidas con otros estudios. ....	42
5.2.2.	Comparación de las concentraciones de Hg obtenidas en relación a las zonas de ventas. 45	
5.3.	Evaluación del Riesgo Potencial.....	46
6.	Conclusión .....	49
7.	Recomendaciones .....	50
	Referencias.....	51
	Anexos .....	65
	Anexo 1. Concentraciones de Hg en muestras analizadas.....	66
	Anexo 3. Riesgo potencial .....	69
	Anexo 4. Registro Fotográfico.....	78
	Anexo 5. Formato de encuesta.....	82
	Anexo 6. Análisis estadístico (Microsfot Excel). ....	83

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Obtención de las especies y marcas comerciales en relación a las zonas de ventas....	29
<b>Tabla 2.</b> Evaluación de la exactitud y precisión del método analítico con base en material de referencia certificado. ....	37
<b>Tabla 3.</b> Especies ícticas importadas y comercializadas en la ciudad de Barranquilla (M: promedio, R: ramoneador, O: omnívoro, P: Planctófaga, D: detritívoro, C: Carnívoro, S: desviación estándar, Rango: mínimo - máximo ( $\mu\text{g/g}$ )). ....	38
<b>Tabla 4.</b> Organización de grupos homogéneos a partir del valor de las medias.....	41
<b>Tabla 5.</b> Comparación de concentraciones de mercurio en los peces estudiados con otras referencias. Los resultados son expresados como $M \pm S$ : promedio-desviación estándar y el rango (mínimo-máximo ( $\mu\text{g/g}$ ))......	42
<b>Tabla 6.</b> Comparación de concentraciones de mercurio en los peces estudiados en relación a las zonas de ventas.....	39
<b>Tabla 7.</b> Evaluación del Riesgo Potencial para la salud humana de la población Barranquillera, que consume el pescado importado objeto de estudio.....	47

### Lista de Gráficas

<b>Gráfica 1.</b> Concentraciones de mercurio vs especie. Similitud y diferencia. ....	40
--	----

### Lista de ilustraciones

<b>Ilustración 1.</b> Ciclo biogeoquímico del Mercurio. ....	20
<b>Ilustración 3.</b> Muestra de Bocachico Argentino ( <i>Prochilodus lineatus</i> ). ....	78
<b>Ilustración 4.</b> Muestra de Bocachico Argentino ( <i>Prochilodus lineatus</i> ). ....	78
<b>Ilustración 5.</b> Muestra de Bocachico Venezolano ( <i>Prochilodus reticulatus</i> ). ....	79
<b>Ilustración 6.</b> Muestra de Bocachico Venezolano ( <i>Prochilodus reticulatus</i> ). ....	79
<b>Ilustración 7.</b> Muestra de Basa ( <i>Pangasius hypophthalmus</i> ) ....	80
<b>Ilustración 8.</b> Muestra de Sardina Van Premium Camp's ....	80
<b>Ilustración 9.</b> Muestra de Atún Medalla de Oro. ....	81
<b>Ilustración 10.</b> Extracción de muestras de tejido muscular de las especies ícticas de estudio para análisis de concentración de mercurio. ....	81

## Resumen

Esta investigación permitió analizar las concentraciones de mercurio presente en el tejido muscular de cinco especies ícticas importadas en la ciudad de Barranquilla como lo son: el Bocachico Argentino (*Prochilodus lineatus*), la Basa (*Pangasius hypophthalmus*), el Bocachico Venezolano (*Prochilodus reticulatus*) las cuales son comercializadas en forma fresca o congelada y los enlatados Sardina Van Premium Camp's y el Atún Medalla de Oro. Esto a partir de 50 unidades de pescado, tomando 10 muestras de tejido muscular de cada especie, las cuales fueron determinadas por espectrofotometría de absorción atómica con vapor frío en previa digestión acida en el Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba, dando paso a la estimación de riesgo potencial para la salud humana Barranquillera que consume las mencionadas especies, donde se evidenció que las concentraciones más altas de mercurio se presentaron en el Atún Medalla de Oro con un valor promedio de  $0.0911 \pm 0.0181 \mu\text{g/g}$ , y la concentración más baja en la especie Basa (*Pangasius hypophthalmus*) con promedio de  $0.0185 \pm 0.0073 \mu\text{g/g}$ . La estimación del riesgo potencial indicó que los niveles de metilmercurio no generan efectos negativos a la salud humana, puesto que la ingesta semanal de este metal por parte de la población barranquillera fue menor a 1, teniendo en cuenta que el límite máximo permisible establecido por la JECFA es de  $1.6 \mu\text{g/kg/semana}$ . No obstante, cabe resaltar que todas las especies analizadas presentaron concentraciones de mercurio, situación que amerita mayor atención en aras de prevenir una crisis de salud pública por consumo de peces

contaminados, debido a que el mercurio se puede bioacumular con respecto al tiempo y generar un riesgo a mediano o largo plazo.

**Palabras Claves:** Mercurio, especies ícticas importadas, riesgo potencial, salud humana, espectrofotometría.

### Abstract

This research allowed determine the concentration of mercury in muscle tissue to five different fish imported and marketed in Barranquilla like: Bocachico Argentino (*Prochilodus lineatus*), Basa (*Pangasius hypophthalmus*), Bocachico Venezolano (*Prochilodus reticulatus*), which are marketed in fresh or frozen form and canned Sardina Van Premium Camp's and Atún Medalla de Oro. This from 50 units of fish, taking 10 samples of muscle tissue from each species, which were determined by atomic absorption spectrophotometry with cold steam after acid digestion in the Laboratory of Toxicology and Environmental Management of the Universidad de Córdoba, giving way to estimate potential risk to human health Barranquillera that consume the mentioned species, in this studio it was shown that the highest concentrations of mercury were presented at the Tuna with an average value of  $0.0911 \pm 0.0181$  g / g, and the lower concentration in Basa (*Pangasius hypophthalmus*) species with average  $0.0185 \pm 0.0073$  g / g. The estimate of the potential risk indicated that methylmercury levels don't generate negative effects to human health, since the weekly intake of mercury from Barranquilla population was under 1, bearing in mind that the maximum limit established by the JECFA is 1.6 µg/kg/week. However, it should be noted that all species tested had levels of mercury, a situation that deserves more attention in order to prevent a public health crisis by eating contaminated fish, because mercury may bioaccumulate over time and generate a risk in the medium to long term.

**Keywords:** Mercury, imported fish species, potential risk, human health, spectrophotometry.

## 1. Introducción

Los contaminantes ambientales que poseen mayor impacto, son aquellos que tienden a acumularse en los organismos por su estabilidad química o escasa biodegradabilidad (Lancheros, 2014). Entre los innumerables contaminantes existentes, la contaminación por metales pesados en el medio ambiente se ha convertido en un fenómeno de interés mundial debido a su toxicidad, persistencia durante varias décadas en el medio acuático, así como a su bioacumulación y biomagnificación en la cadena alimenticia (Rajeshkumar & Munuswamy, 2011). A pesar de que esta contaminación puede ser producida de forma natural, con el desprendimiento y desgaste de la corteza terrestre (Pirrone, 2013), también puede ser generada de forma antropogénica a partir de la industrialización, teniendo esta última un mayor impacto sobre los cuerpos de agua al causar aproximadamente el 75% de la contaminación por vertimientos de aguas industriales, de igual forma, la explotación minera, la lixiviación, la quema de combustibles fósiles, el uso indiscriminado de fertilizantes y funguicidas han contribuido con la contaminación de los ecosistemas acuáticos agregando determinados porcentajes de metales pesados. (Gupta et al., 2009).

Uno de los principales contaminantes es el mercurio, que según la UNEP, es un potente neurotóxico y al entrar en contacto con el agua por deposición húmeda y seca o por escorrentía de las cuencas en forma de ion mercurio (Selin, 2009), se acumula en los sedimentos y se transforma en metilmercurio, la principal forma orgánica de este metal. El cual ingresa en la cadena trófica a partir de las algas (Otero, 2001), luego pasa a los

peces que son vulnerables a efectos fisiológicos, como por ejemplo, el caso de los alevinos de cachama blanca, que al estar expuestos a dosis subletales de  $\text{HgCl}_2$ , presentaron un incremento significativo en la demanda de oxígeno, produciendo una explosión respiratoria también llamada estrés oxidativo, así como la producción de cambios en la actividad bactericida del plasma y cambios anatomopatológicos a nivel branquial, hepático y renal, esto según el estudio realizado por Naranjo et al (2014). Por su parte, en el caso del esturión blanco, que se encuentra aguas abajo del río Columbia, se pueden observar efectos adversos a nivel reproductivo según el estudio de Webb et al (2006), e incluso se pueden presentar efectos neurológicos, como en el caso del Salmón del Atlántico que presentó peroxidación lipídica, lesiones necróticas en el cerebro, así como cambios en la conducta (Berntssen et al., 2003), estas concentraciones se transfieren finalmente al ser humano por el consumo de estos peces, causando daños a la salud debido a la alta toxicidad del mercurio, relacionando su concentración con la cantidad ingerida.

Al encontrarse el mercurio biomagnificado, puede ocasionar una debilidad generalizada, que progresivamente da origen a una disminución de visión y audición o una espasticidad muscular hasta inducir a un coma o incluso provocar la muerte de la persona consumidora (Raimann et al., 2014). Es por ello la necesidad y el interés a nivel global (WHO/IPCS, 1990; NRC, 2000; UNEP, 2013) en incentivar la realización de este tipo de investigaciones en aras de prevenir antecedentes patológicos como el presentado en la ciudades de Minamata-China (Hatoyama, 2013) y de países como Venezuela o

México (Besada et al., 2006), en donde las concentraciones de mercurio en peces para consumo, ha provocado afectaciones como los mencionados anteriormente (Raimann et al., 2014), por ende, se hace indispensable para el sector pesquero y entes gubernamentales de Colombia, conocer y analizar las concentraciones de mercurio existentes en especies ícticas importadas y comercializadas, tal como lo efectúa el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la resolución 122 de 2012, donde establece como máximo valor permisible 0.5 µg/g de mercurio en productos de la pesca y carne de pescado con el fin de proteger la salud humana y prevenir posibles daños a la misma. Por esta razón se pretende efectuar la siguiente investigación, que permita evaluar el riesgo potencial en la salud humana de la población Barranquillera, al consumir determinadas especies de peces con niveles de exposición de mercurio, (INVEMAR, 2004; García & Luque, 2008; Pedraza, 2009; Franco & León, 2012; Fuentes, 2014).

Cabe resaltar, que en Colombia existe evidencia de contaminación con Hg en peces de zonas que tradicionalmente se han dedicado y/o han estado influenciadas por la minería de oro, donde se emplea el Hg para amalgamarlo durante el proceso de extracción (Olivero & Johnson, 2002; Olivero-Verbel et al., 2004; Marrugo et al., 2007; Marrugo-Negrete et al., 2010). Sin embargo, existe poca información de este tipo de investigación con peces importados, justificando así en gran parte la necesidad del presente estudio, como base para la prevención en salud, la planificación y establecimiento de las medidas de control adecuado sobre algunos peces importados y consumidos por los habitantes de

la ciudad de Barranquilla, teniendo en cuenta que la ingesta semanal permitida establecida por la JEFA (2003) para consumo humano es de 1.6  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$ .

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo General

Analizar las concentraciones de mercurio en peces importados y comercializados en la ciudad de Barranquilla y estimar el riesgo potencial para la salud humana.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las concentraciones de mercurio en las especies ícticas, Bocachico Argentino (*Prochilodus lineatus*), Basa (*Pangasius hypophthalmus*), Bocachico Venezolano (*Prochilodus reticulatus*) y en los enlatados de las marcas conocidas como Sardina Van Premium Camp's y Atún Medalla de Oro, importadas y comercializadas en la ciudad de Barranquilla.
- Estimar el consumo promedio de Bocachico Argentino (*Prochilodus lineatus*), Basa (*Pangasius hypophthalmus*), Bocachico Venezolano (*Prochilodus reticulatus*), Sardina Van Premium Camp's y atún Medalla de Oro por la población Barranquillera.
- Calcular el riesgo potencial para la salud humana de la población Barranquillera, debido a los niveles de exposición de mercurio por el consumo de las especies ícticas importadas.

### **3. Marco Teórico y Estado del Arte**

#### **3.1. Antecedentes**

Estudios e investigaciones sobre concentraciones de mercurio en peces y sus afectaciones a la salud, se han venido desarrollando a lo largo del tiempo debido a la contaminación producida por efluentes con compuestos químicos y metales pesados como el mercurio, esta problemática no es nueva, ya que existen variados reportes en muchos países.

El acontecimiento con mayor incidencia, ocurrió en 1956 en Minamata – Japón donde fue reconocida oficialmente la “enfermedad de Minamata” producida por el consumo de productos marinos contaminados con  $\text{MeHg}^+$ , el cual era producido por actividades industriales de la ciudad de Minamata siendo efluente directo al medio acuático, los principales síntomas de la enfermedad incluían trastornos sensoriales, ataxia, contracción concéntrica del campo visual, desordenes auditivos y un mayor daño a mujeres embarazadas (Hatoyama, 2013). El incidente pudo afectar de 12.000 a 17.000 personas, de las cuales sólo unas 2.200 (los casos más graves) fueron reconocidas como tal por la sanidad pública (Harada, 2000), a partir de lo causado, el Ministerio de Medio Ambiente de Japón ha creado técnicas de mitigación al daño por Hg así como la planificación para el manejo del mismo.

En países como Argentina, la concentración máxima de distintos contaminantes en peces está regulada por el código alimentario Anmat (MSAL, 2007) expuesto por el ministerio de salud de la nación, estableciendo que la carne de pescado no deberá contener mercurio en cantidad superior a 0.5 mg/kg (0.5 ppm) y de esa cifra no más de 0.3 mg/kg (0.3 ppm) (expresada como mercurio) podrá encontrarse como compuestos metil-mercuriales. En Río de la Plata, Argentina, Planes & Flunchs, (2015) encontraron niveles elevados de mercurio en la especie *Prochilodus lineatus* en concentraciones superiores a las recomendadas para consumo humano. Es así que la pesca de *Prochilodus lineatus*, tanto artesanal como comercial, se prohibió en la provincia de Buenos Aires en el año 2000.

Estudios realizados a la especie *Pangasius hypophthalmus* se realizaron en Colombia (Ortega, 2014) , donde la especie presentó una concentración de mercurio de 0.006 µg/g, no excediendo el valor permitido por la normatividad Colombia para carnes de pescado con un valor de 0.5 µg/g. La técnica empleada fue la espectrofotometría de absorción atómica. Cabe agregar que la distribución de la especie *Pangasius hypophthalmus* desde Vietnam hacia países de la unión europea, Estados Unidos, México, Colombia, entre otros, aumentó en su distribución desde mediados del 2008 con un total de 25.000 toneladas de pescado (Leon & Castillo, 2008).

Una evaluación de metales realizada en el embalse de Río Hondo, en Santiago del Estero, Argentina, (Ale & Medina, 2015) a la especie *Prochilodus lineatus* se le

determinó concentraciones de metales pesados como mercurio, plomo, cadmio, cobre y zinc en los músculos de la especie en estudio, al realizar muestreos en diferentes puntos del embalse para tener una variabilidad en la concentración, se pudo concluir que la bioacumulación de metales pesados en relación a la concentración de metales existentes varía dependiendo de la capacidad que tenga cada metal para bioacumularse.

Dentro de los estudios a resaltar se encuentra la evaluación de riesgos para la salud humana planteada por contaminantes cancerígenos y no cancerígenos asociados con el consumo de pescado de lago Taihu, China, donde los riesgos se evaluaron utilizando un cociente de riesgo de la tasa de consumo de pescado a la tasa de consumo de pescado máximo permitido. A partir de los resultados de los diferentes metales analizados, el riesgo más alto se presenta de Hg con 0.1 mg/kg (Ying H, 2013).

De igual forma existen otros estudios que han reportado contaminación con mercurio, dentro de los que se encuentra Velazco et al. (2001), donde se evaluaron los contenidos de mercurio y arsénico en 84 muestras de atún y sardina enlatados de seis marcas comerciales producidas en México, por medio de espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros, los resultados obtenidos oscilaron entre 0.18 a 4.52 de Hg y 0.14 a 4.74 de Hg mg/kg, el 36% de las muestras de atún analizadas sobrepasaron la concentración máxima de 1.0 mg/kg de mercurio en pescado, establecido por la Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos de América (FDA, 2000).

Del mismo modo, utilizando la técnica de espectrometría de absorción atómica con generador de hidruros se examinaron en peces pelágicos mayores de la Costa Occidental de Baja California Sur, México la bioacumulación y biomagnificación de mercurio y selenio (Escobar, 2011) donde recolectaron muestras de músculo de ocho especies de pelágicos mayores, así como de sus presas principales siguiendo la escala de la cadena trófica, la mayor bioacumulación de mercurio se registró en el marlín azul *Makaira nigricans*  $4.38 \pm 5.12 \mu\text{g/g}$  y en tiburones costeros principalmente en *Carcharhinus limbatus* ( $3.78 \pm 1.24 \mu\text{g/g}$ ), valores que sobrepasan el límite permisible de  $1.0 \mu\text{g/g}$  establecido por la NOM-027 Mexicana para evitar los efectos nocivos en la salud humana.

Otra de las investigaciones realizadas en México fueron sobre las concentraciones de mercurio, cadmio, plomo, arsénico, cobre y zinc en atún blanco, rabil y patudo procedentes del Océano Atlántico (Besada et al., 2006), las especies estudiadas fueron el atún blanco o bonito del norte (*Thunnus alalunga*), el rabil (*Thunnus albacares*) y el patudo (*Thunnus obesus*) y según los resultados las concentraciones máximas de Hg en las muestras de atún blanco y rabil se encontraron muy alejadas del límite para consumo humano fijado en el Reglamento Comunitario CE 466/2001 y CE 78/2005 (2005) para este elemento ( $1.0 \text{ mg kg}^{-1}$  peso húmedo).

En el pescado del mar Atlántico (Marruecos), se evaluó el contenido de cadmio, mercurio y plomo por la práctica de espectrometría de absorción atómica de vapor frío,

en especies: *Sardina pilchardus*, *Scomber scombrus*, *Plectorhinchus mediterraneus*, *Trachurus trachurus*, *Octopus vulgaris*, *Boops boops*, *Sarda sarda*, *Trisopterus capellanus*, y *Conger conger*, Los resultados arrojaron que los niveles de cadmio, plomo y mercurio en los músculos de los peces se encontraban en intervalos entre 0.009 - 0.036; 0.13 - 0.114 y 0.049 - 0.194  $\mu\text{g/g}$  respectivamente. (Chahid et al., 2014).

Un análisis realizado en Venezuela sobre el estado de conocimiento de las concentraciones de cadmio, mercurio y plomo en las especies *Colossoma macropomum*, *Mugil Liza*, *Centropomus undecimalis*, entre otras. Se evidenció que la contaminación por metales pesados está relacionada con el desarrollo de la industria siderúrgica y petrolera, donde algunos individuos presentaron concentraciones de mercurio superiores a los límites permisibles con concentraciones mayores de un valor de 1 mg/kg de Hg en masa seca, en un 8.5 % (Salazar, 2009).

También en Venezuela, se ha analizado el contenido de mercurio total en peces de consumo habitual en los asentamientos indígenas el Plomo y el Casabe en el Estado Bolívar (Álvarez & Rojas, 2009), se efectuó mediante absorción atómica vapor en frío. De las especies analizadas es decir el 46.13% (6), mostraron valores promedio de mercurio total sobre 0.5  $\mu\text{g/g}$  (OMS/FAO) con un valor 1.785 $\mu\text{g/g}$  en la especie *Hydrolycus scomberoides* conocida como payara, la cual mostró los valores más altos.

En el mismo sentido en Malasia se evaluó el contenido de Hg, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn en muestras de músculo e hígado, en 13 especies incluyendo la Basa (*Pangasius hypophthalmus*), gambas y algas de 37 granjas de acuicultura, mediante espectrometría de absorción atómica de vaporización de calor y un espectrofotómetro de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente. Los valores de ingesta estimados calculados de los malasios para As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn en el músculo de las especies examinadas fueron 3.713, 0.115, 0.113, 4.268, 0.211, 0.738 y 15.863 g/kg de peso corporal/día. Ninguno de los valores superó los valores de referencia de la JECFA y no generó riesgos para la salud de los consumidores (Mok et al, 2012).

Una evaluación de la contaminación por mercurio en peces de interés comercial y de la concentración de organoclorados y organofosforados en el agua y sedimentos (Trujillo & Lasso, 2013), se realizó en la cuenca de Orinoquia, área Colombo Venezolana. Los resultados obtenidos mostraron altas concentraciones de mercurio, específicamente de las especies en Colombia 16 de las 17 analizadas, presentaron valores de riesgo mayor a 1 y en Venezuela presentaron 13 especies de las 18 estudiadas con el mismo valor. De las especies colombianas la más alta concentración de Hg se encontró en la especie *Pseudoplatystoma fasciatum* conocida como bagre rayado con un valor de 1.29 µg/g y en Venezuela se evidenció un registro similar en la especie *Hydrolycus scomberoides*.

El estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia, fue realizado por la Universidad Nacional, sede Medellín (Mancera & Álvarez, 2006) donde especifican que las concentraciones de metales pesados conocidas, se encuentran en la cuenca del río Magdalena, especialmente en la región de la Mojana y en las ciénagas del sur del departamento de Bolívar donde se han estudiado los niveles de contaminación por mercurio, se analizaron ocho especies de peces dulceacuícolas: *Carassius auratus*, *Oreochromis spp*, *Piractus brachypomus*, *Prochilodus magdalenae*, *Astyanax fasciatus*, *Colossoma bidens*, *Gambusia affinis* y *Grundulus bogotensis*, en las cuales la especie *Prochilodus magdalenae* mostraba las concentraciones más baja de Hg con valores de 0.015-0.110 µg/g y especies carnívoras como *Hoplias malabaricu* mostraban una alta acumulación del mismo con 1.236 µg/g, Del mismo modo, se infirió que existe una homogenización de la acumulación de mercurio entre las especies en la época de lluvias, con respecto a la época seca.

En Colombia se avanza con las investigaciones de concentraciones de mercurio en peces, demostrando reportes como el expuesto por (Marrugo et al., 2007) con el hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel – Córdoba, el cual se realizó con espectrometría de absorción atómica por vapor frío después de digestión ácida encontrando los mayores resultados en concentraciones de Hg-T en la especie carnívora *Ageneiosus caucanus* (0.504±0.103 mg Hg kg<sup>-1</sup> peso fresco), y las menores concentraciones en la especie iliófaga *Prochilodus magdalenae* (0.130±0.056 mg Hg kg<sup>-1</sup> peso fresco), los cuales no sobrepasan el límite permisible para consumo humano

establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 0.5 mg Hg kg<sup>-1</sup> peso fresco); Al evaluar el índice de peligrosidad, se implantó que el consumo de 0.12 kg de pescado por día en la población humana puede causar envenenamiento por mercurio, principalmente si se consumen especies carnívoras.

En otro estudio se analizaron las concentraciones de metilmercurio en seis peces especies de dos ríos Colombianos (Rio Nechi y La Miel), especies: *Pseudoplatystoma magdaleniatum*, *Leporinus muyscorum*, *Sorumbim cuspicaudus*, *Prochilodus magdalanae*, *Pimelodus ssp*, *Triportheus magdalanae*, donde se obtuvo como resultado una mayor concentración de MeHg en los peces estudiados del Rio Nechí no excediendo el límite permisible por la Organización Mundial de la Salud para el consumo peces, registrándose valores entre 465 y 934 ng/g de MeHg (Álvarez & Jessick, 2012).

Del mismo modo se ha evaluado la exposición humana al mercurio a través del consumo de pescado (Ruiz & Marrugo, 2014) en los habitantes del embalse de Urrá en Colombia, para lo cual se midió la cantidad semanal de pescado consumido por la población, arrojando como resultado 0.6 a 55.4 mg/kg peso corporal / semana, lo cual indica que hay una acumulación de Hg que puede producir una problemática de salud pública. En Urra la mayor ingesta de peces semanal se produce en niños entre los 2 y 15 años de edad lo cual fue establecido por encuestas de recopilación de datos. Las concentraciones de Hg se acercaron a un valor de hasta 2.73 mg/g, por lo cual no es recomendable el consumo en niños y mujeres embarazadas.

Cabe resaltar que los peces son importantes bioindicadores de la integridad de los ecosistemas acuáticos y la exposición de las comunidades a elementos tóxicos, por lo que un estudio realizado en Perú (Chota & García, 2014), utilizó especies de pescado como *Hypophthalmus* y *Prochilodus* para conocer su concentración de metales en especial de mercurio en especies de los ríos Curacay, Arabela y Napo, donde las concentraciones de mercurio estuvieron entre 0.03 y 0.07 mg/kg, encontrándose debajo del valor permisible establecido por la normatividad peruana pública de salud con 0.5 mg/kg de concentración.

### **3.2. Marco Teórico**

#### **3.2.1. Mercurio**

El mercurio (Hg) es un metal plateado, con número atómico 80, peso atómico 200.59 uma, temperatura de fusión de  $-38.87\text{ }^{\circ}\text{C}$  y temperatura de ebullición de  $356.58\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Es líquido a temperatura ambiente a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , su gravedad específica es de 13.46 y la presión de vapor es de 0.16 Pa. Está caracterizado por su baja resistividad a la corriente eléctrica, alta tensión superficial y alta conductividad térmica (Rodríguez, 2000). Está presente en la naturaleza principalmente como Cinabrio rojo o como Metacinabro Negro, (HgS), siendo este último un sulfuro mixto muy poco estable, donde el mercurio

contenido puede lixiviarse con facilidad por la presencia de otros sulfuros (Español, 2006).

La incorporación del mercurio en el medio ambiente se da tanto por procesos naturales como antropogénicos (UNEP, 2013), sin embargo, la aportación humana ha ido creciendo en las últimas décadas, de modo que las concentraciones de este metal han aumentado en el ambiente (Gupta et al., 2009). La quema de combustibles fósiles, la minería y la fundición son los focos más importantes de emisión de mercurio al aire, mientras que los fertilizantes, fungicidas y la inadecuada eliminación de desechos industriales, domésticos y hospitalarios son las fuentes con mayor aporte de mercurio a los suelos, alterando así sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Zhang et al., 2012). El rango típico de concentración de mercurio en el aire es de 5 a 20 ng/m<sup>3</sup>, encontrándose básicamente en su fase de vapor. Por su parte en el agua, el mercurio se encuentra en valores inferiores a los 100 ng/L. El nivel de agua marina se encuentra en 1 ng/L (Cameán & Repetto, 2012). Con respecto a estas concentraciones, la OMS (2004) indica que el valor de referencia para el mercurio inorgánico es de 0.006 mg/L en el agua, mientras que en el suelo, la concentración de mercurio oscila entre 0.05 y 0.2 µg/g.

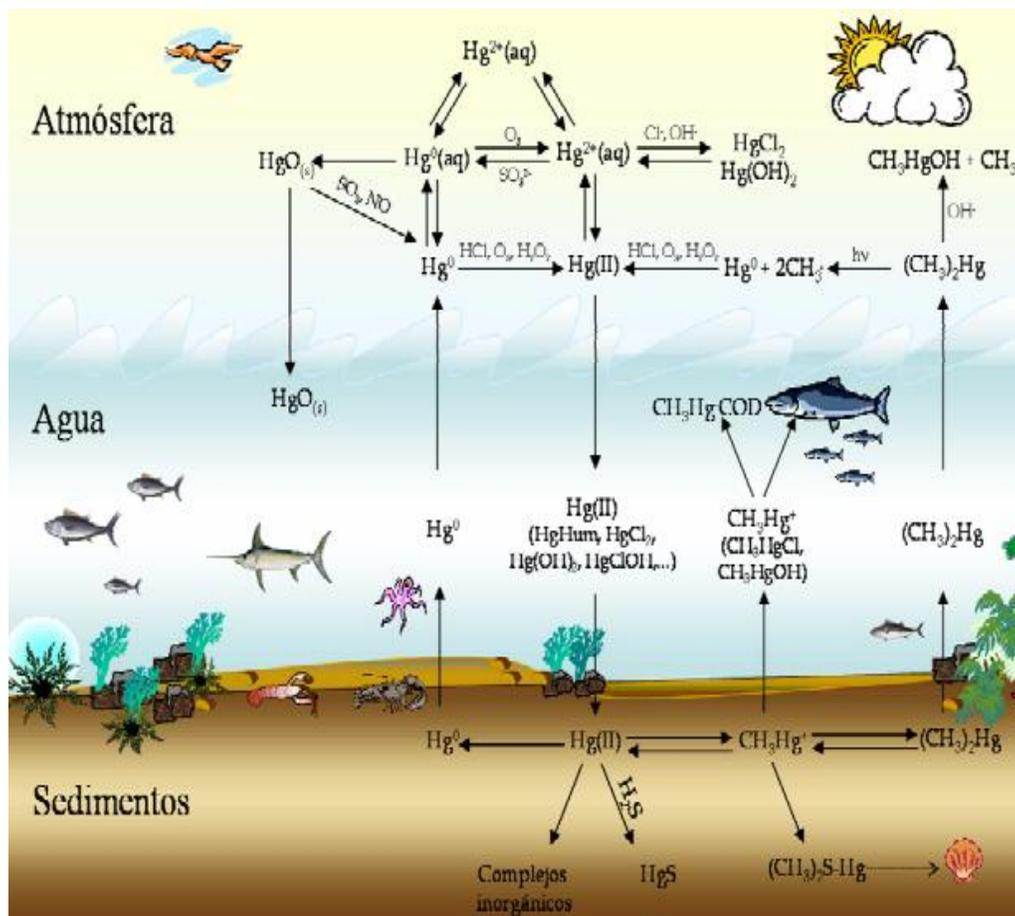
Según el PNUMA (2005), el mercurio no puede ser descompuesto ni degradado en sustancias inofensivas. Por ello, durante su ciclo biogeoquímico puede cambiar de estado y especie, pero su forma más simple seguirá siendo el mercurio elemental (Hg<sup>0</sup>) el cual es nocivo para los ecosistemas y para el ser humano. Cuando es liberado a partir de la

explotación minera, depósitos de combustibles fósiles, o simplemente por los minerales yacentes en la corteza terrestre, este elemento llega a tener una gran movilidad y circula en el suelo, el agua, la atmosfera y la biota (Castillo, 2005).

### **3.2.2. Ciclo del Mercurio**

El mercurio terrestre tiene un origen magmático, por lo cual algunos investigadores afirman que los yacimientos más importantes, como el de Almadén, tienen procedencia del manto superior. Este elemento puede considerarse como un producto de desgasificación a lo largo de fallas profundas (Rodríguez, 2000). Una vez que el mercurio es liberado al medio sufre diversas transformaciones que dan como resultado una alta variedad de compuestos. Primero pasa al aire de forma natural por medio de las emisiones volcánicas, termalicas o por emisiones industriales donde puede permanecer días o años, lo que le permite ser transportado miles de kilómetros, luego pasa al suelo por lluvias o precipitaciones secas y sufre una fuerte adsorción por la materia orgánica y las arcillas, y a pesar de que en este medio su movilidad es muy limitada, puede llegar a acuíferos, lagos y al mar a causa de la erosión de los suelos contaminados, o en su defecto vuelve al aire, asociado a partículas o por simple volatilización (Castillo, 2005), tal como se esquematiza en la Ilustración 1.

### Ilustración 1. Ciclo biogeoquímico del Mercurio.



**Fuente:** Cabañero, (2005)

También puede llegar a las aguas subterráneas por infiltraciones de aguas industriales o infiltración de vertederos, siendo redistribuido por la extracción de agua ya sea para su uso como agua potable o para riego (Morell & Hernández, 2000).

### **3.2.3. *El mercurio en el agua.***

El mercurio usualmente se introduce en los ambientes acuáticos, por deposición húmeda y seca sobre la superficie del agua o por escorrentía de las cuencas en forma de ion mercurio, el cual se adsorbe fácilmente en las partículas, favoreciendo su metabolización por los microorganismos (Selin, 2009).

El metilmercurio es la principal forma orgánica del mercurio, siendo el compuesto resultante de la unión del metal con el carbono, los microorganismos convierten el ion mercurio a metilmercurio y a pesar de que es pequeña la cantidad que se genera en los fondos marinos, este fenómeno puede contaminar las cadenas tróficas acuáticas, ya que se incorpora en peces y mariscos a través de las branquias, y en ellos se acumula en las proteínas de los tejidos, actuando como una potente neurotoxina (Blasco et al., 2005). Dicha metilación la realizan un importante número de bacterias, principalmente del grupo de las reductoras de sulfato, en condiciones anóxicas de los fondos y sedimentos marinos (Kerin et al., 2006).

### **3.2.4. *Distribución de mercurio en los tejidos de los peces.***

Un factor importante de los efectos del mercurio en el ambiente es su capacidad de acumularse en organismos y ascender por la cadena trófica. Aunque todas las especies

de mercurio pueden acumularse, el metilmercurio es absorbido y se acumula más que otras especies (Olivero et al., 2011).

Sin embargo, la distribución del mercurio en los órganos de los peces, depende de las condiciones de exposición, el comportamiento del agua y los sedimentos que afectan la especiación química y la biodisponibilidad del metal, así mismo depende de las propiedades estructurales y funcionales de las diferentes especies de peces, lo que podría afectar la ingesta de dichos peces a través de las barreras biológicas, como lo son las paredes intestinales y/o a nivel de las branquias, los procesos de almacenamiento en las células y tejidos, y los mecanismos de depuración/excreción (Houserova et al., 2006).

La relación entre las concentraciones de metilmercurio y los regímenes alimenticios de las especies es directamente proporcional, (Brachet et al., 2006) ya que la biomagnificación de mercurio en el tejido muscular de especies carnívoras es del 80%. Mientras que la concentración en las especies bentívoras es menor, puesto que ingieren pequeños invertebrados con cargas de metilmercurio bastante bajas en el hígado y los riñones. Lo que confirma que a menor escala en la cadena alimenticia, los organismos se encuentran menos expuestos a la acumulación de este metal.

Por otro lado, un estudio realizado aguas abajo del río Columbia, se determinó la concentración de mercurio total en el hígado, gónadas, y el tejido muscular del esturión blanco. Para determinar el mercurio total se utilizó espectrofotometría de fluorescencia

atómica en vapor frío, mientras que las concentraciones de proteína del tejido se midieron por espectroscopia ultravioleta-visible. Los resultados del estudio demostraron que el esturión macho inmaduro con un mayor contenido de mercurio de las gónadas había disminuido. Lo cual sugiere que el mercurio, en forma de metilmercurio, puede tener un efecto sobre el potencial reproductivo de esta especie (Webb et al., 2006).

Según el estudio realizado por Naranjo et al. (2014) se utilizaron alevinos de cachama blanca, con un peso de  $10 \pm 2,1$  g, distribuidos en acuarios con aireación constante, sin filtro. El período experimental fue de 18 días y se realizaron seis muestreos (días 1, 2, 4, 7, 12 y 18) en los cuales se tomaron muestras de sangre para la evaluación de la explosión respiratoria y la capacidad bactericida del plasma. Se calculó el índice hepatosomático y se tomaron muestras para procesamiento histopatológico. En este último se encontraron cambios como hiperplasia, aneurismas y sinequias en branquias; inclusiones hialinas en hígado y centros melanomacrófagos en riñón. Los alevinos de cachama blanca expuestos a dosis subletales de  $\text{HgCl}_2$ , mostraron un incremento significativo en la explosión respiratoria (estrés oxidativo), así como cambios en la actividad bactericida del plasma, además de cambios anatomopatológicos a nivel branquial, hepático y renal, los cuales suponen alteraciones fisiológicas de estos peces.

Análogamente en el estudio realizado por Berntssen et al. (2003) se analizaron concentraciones de mercurio inorgánico y metilmercurio en el salmón del Atlántico durante 4 meses, con dietas a base de cloruro de mercurio y metilmercurio. El mercurio

inorgánico se acumuló principalmente en el intestino y los riñones de los peces y tuvo una asimilación baja del 6%. Mientras que el metilmercurio se acumuló fácilmente en los órganos internos y en el tejido muscular con una asimilación del 23%. En los peces de estudio se produjo una peroxidación lipídica y lesiones necróticas en el cerebro, así como cambios en la conducta.

### **3.2.5 Clasificación de las especies en estudio**

#### ***3.2.5.1 Bocachico Argentino (Prochilodus lineatus)***

Conocido como Sábalo, dentro de su distribución geográfica se encuentra la cuenca del Plata (ríos Paraguay, Bermejo, Paraná, Uruguay, Río de la Plata) todos los cuerpos de agua adyacente, Cuenca del Salí-Dulce-Juramento, como el río Salado y laguna de Chascomús en Argentina, hace parte de las especies detritívoras las cuales se alimentan de detritos, o sea, de residuos, materia en descomposición procedente de fuentes orgánicas (animales y vegetales) (SAGPyA, 2007).

Esta especie se reconoce por ingerir barro, el cual convierte el detritus (materia orgánica en descomposición) contenido en los sedimentos de los fondos de los ambientes donde habita. Su mayor ejemplar se encuentra en los 70 cm de longitud total y se exporta en gran cantidad a los mercados de Brasil, Bolivia, Colombia y países de África (SAGPyA, 2007).

### **3.2.5.2 Basa (*Pangasius hypophthalmus*)**

Es una de las principales especies de peces en la pesquería del río Mekong en Vietnam, una de las pesquerías continentales más grandes e importantes del mundo, a su vez se produce también en países como Indonesia, Malasia, Camboya, Bangladesh y China. Particularmente se alimenta de algas, plantas superiores, el zooplancton e insectos, es identificada como una especie omnívora. (FAO, 2015).

En esta especie, los peces maduros pueden alcanzar una longitud total estándar máxima de 130 cm y hasta 44 kg de peso. Actualmente, Vietnam exporta *Pangasius hypophthalmus* a más de 80 países, incluidos varios de Europa (especialmente Polonia y España), los países de Asia, México, Australia, los Estados Unidos de América, y el Medio Oriente (FAO, 2015).

### **3.2.5.3 Bocachico venezolano (*Prochilodus reticulatus*)**

Es una especie de importancia económica en el estado Zulia, Venezuela, mantiene un interés comercial en las cuencas del Lago de Maracaibo en Venezuela y del río Magdalena en Colombia. Esta especie muestra una conducta reofílica y madura sexualmente, desova durante la estacionalidad de las lluvias. Hace parte de las especies detritívoras, consumidor de detritos o materia orgánica en descomposición. (León, 2001).

#### **3.2.5.4 *Sardina Van Premium Camp's***

Las sardinasson constituyen un grupo de especies de gran importancia comercial dentro de los pequeños pelágicos tropicales; uno de los géneros de sardinasson más comercializados es el *Ophisthonema* dentro del cual están las especies *Opisthonema bulleri*, *O. libertate* y *O. medirastre*, y una cuarta especie (*O. berlangai*). Son especies Planctófagas, basando su dieta en plantas y algas, ya que requieren un aporte mayor de proteínas vegetales y de fibra. Las especies de sardina son costeras y se distribuyen desde el norte del Golfo de California hasta la Bahía de Sechura en Perú, formando cardúmenes compactos y migratorios a lo largo de toda la zona costera (González & Solis 2010).

#### **3.2.5.5. *Atún Medalla de Oro***

El atún constituye una importante fuente proteínica para la población mundial. Presenta hábitos tróficos carnívoros (Jopia, 2010), se encuentra en los principales océanos del mundo y se caracteriza por su carácter permanentemente migratorio a velocidades de crucero entre 3 y 7 km/hora, que puede alcanzar hasta 70 km/hora. Puede efectuar travesías transatlánticas en menos de 60 días. Se reproduce durante todas las épocas del año y tiene una variedad de especies, siendo las más importantes *Thunnus albacares*, *Thunnus obesus* y *Katsuwonus Pelamis*. Dado su carácter migratorio, se encuentra tanto en aguas internacionales como en las jurisdicciones marinas de los distintos países (Zuleta & Becerra, 2013).

En cuanto a su distribución geográfica el Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO se basó en calcularla por medio de las capturas, donde el 69,0% se realizó en el océano Pacífico, el 21,7% en el océano Índico y 9,5% en el océano Atlántico y mar Mediterráneo (Jopia, 2010).

### **3.2.6. Exposición y efectos del mercurio en seres humanos.**

Las afectaciones del mercurio en los seres humanos, merecen considerable atención, ya que fueron estos efectos los que originaron la preocupación sobre los metales pesados que contaminan el ambiente al encontrarse en grandes concentraciones. Dicha preocupación nace con el primer incidente grave que ocurrió en la bahía de Minamata en Japón en 1956 (Hatoyama, 2013). También se reporta otro incidente en Irak producto del envenenamiento provocado por el tratamiento de semillas con fungicidas que tenían alquil-mercurio (Foulke, 1999) y casos similares de intoxicación por consumo inadvertido de semillas de cereales tratadas con mercurio que se han reportado en Ghana, Guatemala y Pakistán (PNRQ, 2008).

A pesar de los incidentes anteriormente mencionados, para la mayoría de las personas, la probabilidad de exposición apreciable de mercurio debida al aire, los plaguicidas o los productos farmacéuticos es muy limitada. Sin embargo, existe exposición debido a la alimentación. Es por ello que el comité de expertos en aditivos alimenticios de la FAO/OMS, estableció un nivel de ingesta semanal tolerable

provisional de 0.3 mg de Mercurio total por persona, de los cuales, no puede haber más de 0.2 mg en forma de metilmercurio (Gil, 2010).

Según Fernández (2001), todas las formas del mercurio son potencialmente tóxicas, pero las toxicidades varían considerablemente. Así pues, los menos tóxicos son los compuestos de mercurio inorgánico. Pues no son absorbidos con rapidez por el tracto intestinal y si llegan a ser absorbidos por el hígado y los riñones, son excretados de forma rápida en la orina.

Los compuestos alquimercuriales, por el contrario, son los más tóxicos ya que son bastante estables y presentan tiempos prolongados de retención en los tejidos. Por consiguiente se acumulan con rapidez alcanzando grandes concentraciones y su solubilidad en los lípidos hace que tengan afinidad por el tejido nervioso. Además, se ha observado que causan anomalías en la división celular y aumentan la frecuencia de la rotura de los cromosomas, así como la inhibición de enzimas (Fernández, 2001).

Los signos de toxicidad en la exposición vía digestiva progresan desde parestesias a ataxia y debilidad generalizada, luego disminución de visión y audición, espasticidad muscular, e incluso la muerte (Raimann et al., 2014).

El Proyecto INMA (Infancia y Medio Ambiente), según Llop et al. (2013), proporcionó información sobre los niveles de exposición prenatal a mercurio de 1800

recién nacidos de Valencia, Sabadell, Asturias y Guipúzcoa. En los cuales se encontró un 24% de los niños con niveles superiores a las dosis recomendadas por la Organización Mundial de la Salud y un 64% por encima de la recomendación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Es por ello que en un estudio realizado en la costa de Nueva Jersey, se analizó los niveles de mercurio y selenio en el musculo de 19 especies de peces, de los cuales las concentraciones de mercurio tuvieron relación directamente proporcional al tamaño de 10 de las 19 especies estudiadas, mientras que las concentraciones de selenio no, lo que sugiere que un buen indicador para determinar la concentración de mercurio en los peces es el tamaño, además que las personas que comen pescado con frecuencia, pueden reducir el riesgo de exposición al mercurio seleccionando peces de pequeño tamaño (Burger & Gochfeld, 2011), (Comision Europea, 2008), (EFSA, 2012), (OMS, 2008).

Por su parte en Ayapel, Colombia según el estudio realizado por Gracia et al (2010). Se evaluaron las concentraciones de mercurio total en el cabello de 112 habitantes mayores de 14 años del municipio, así como en siete especies de peces capturados en la ciénaga de Ayapel, los cuales fueron analizadas por espectrofotometría de absorción atómica por vapor frío después de digestión ácida. Los resultados obtenidos oscilaron entre 0.11 y 12.76  $\mu\text{g/g}$  para el cabello humano, mientras que para los peces, el valor más alto de mercurio total se presentó en la especie carnívora *Sorubin cuspicaudus*, con concentración media de  $0.74 \pm 0.19 \mu\text{g/g}$  de peso fresco. Con dicho estudio se concluyó,

que la población presenta concentraciones de mercurio superiores a las permitidas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 1997) que es de 1  $\mu\text{g/g}$ , y que poseían síntomas acordes con tales niveles.

## 4. Diseño metodológico

### 4.1. Recolección y pretratamiento de las muestras

Para la presente investigación se seleccionaron cinco especies ícticas importadas teniendo en cuenta que presentan una alta comercialización en la ciudad de Barranquilla y porque generalmente están presentes en los expendios de pescado durante todo el año, esto basado en un diagnóstico (**Anexo 2**) realizado en almacenes de cadena (Olímpica, SAO, Éxito) y puntos de expendio de pescado (Plaza de Pescado y La Ballena Azul) para el mes de mayo del año 2015, donde se pudo determinar que entre estas especies se encuentran: la sierra dorada de Perú (*Scomberomorus sierra*), el jurel de Panamá (*Trachurus trachurus*), la cojinova (*Seriolella punctata*), el Bocachico Argentino (*Prochilodus lineatus*), la Basa (*Pangasius hypophthalmus*), el Bocachico Venezolano (*Prochilodus reticulatus*) y marcas comerciales como la Sardina Van Premium Camp's y el atún Medalla de Oro, de las cuales, las especies objeto de estudio se obtuvieron de acuerdo a lo indicado en la **Tabla 1**.

**Tabla 2. Obtención de las especies y marcas comerciales en relación a las zonas de ventas.**

Especie	Zona 1	Zona 2		Zona 3	Zona 4
		Distribuidor 1	Distribuidor 2		
<i>Prochilodus lineatus</i>	4			6	
<i>Pangasius hypophthalmus</i>		4	6		
<i>Prochilodus reticulatus</i>					10
<i>Sardina Van Premium Camp's</i>	10				
<i>Atún Medalla de Oro</i>	10				

**Fuente:** Autores

Se obtuvieron 10 unidades de cada especie para un total de 50 muestras el día 14 de mayo de 2015, este número de muestras se fundamentó en las asesoría brindada previamente por el personal del Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental Ambiental de la Universidad de Córdoba, de igual forma, se considera representativo teniendo en cuenta que es mayor a los utilizados en otras investigaciones de mercurio en peces de Colombia (Alvarez et al., 2012; Sanchez, 2011), así como en el estudio realizado por el Ministerio de Agroindustria del pKaís Indico Mauricio en el año 2008 con un total de 46 muestras de pescado, principalmente de atún en un día de muestreo (UNEP, 2010), en el presente caso el muestreo se realizó en 4 zonas diferentes de la ciudad de Barranquilla tal como se evidencia en la **Tabla 1**, dichas muestras fueron compradas y posteriormente trasladadas al laboratorio de Química de la Universidad de la Costa CUC en una nevera de icopor con 3000 gramos de hielo para garantizar la conservación de las mismas, al llegar al laboratorio se procedió con la extracción de una pequeña cantidad de

tejido muscular, siguiendo el procedimiento descrito por el UNEP/IOC/IAEA/FAO (1990), en el cual se removió la aleta pectoral del lado izquierdo junto a la piel, y con un cuchillo de teflón se cortó una porción de 3 cm de ancho por el alto del pez, la piel se retiró con un tenedor de teflón y la muestra del tejido muscular fue depositada en bolsas ziploc previamente rotuladas para ser refrigeradas nuevamente en una nevera de icopor con 3000 gramos de hielo y transportadas por medio terrestre (puerta a puerta) hasta el Laboratorio de la Universidad de Córdoba, lo cual tuvo una duración de aproximadamente de 10 horas, al llegar las muestras al Laboratorio se procedió a la cuantificación de las concentraciones de mercurio total HgT en cada muestra.

#### **4.2. Determinación de mercurio total**

Las concentraciones de HgT fueron determinadas por espectrofotometría de absorción atómica con vapor frío (CV-AAS) previamente realizada una digestión de cada muestra (0.5 g peso húmedo) con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/HNO<sub>3</sub>, relación 2:1 v/v durante 2 horas a temperatura entre 100- 110 °C (Sadiq et al., 1991). Se utilizó el método IAEA-407 de la Agencia Internacional de Energía Atómica, 2003, donde la concentración de mercurio estuvo dentro del rango, con un porcentaje de recuperación del 94.5% y con un límite de detección del metal de 0.014 µg/g (**Tabla 2**). La validación del método para la determinación de Hg-T en el material de referencia certificado, evidenció la exactitud y precisión (CV) de la concentración de Hg-T hallado para las cinco especies de estudio.

### **4.3. Aplicación de encuestas**

Se aplicaron encuestas a 240 personas que se encontraban en las cuatro zonas donde se recolectaron las muestras objeto de estudio, esto con el fin de conocer la cantidad comprada y consumida para cada especie, al igual que la frecuencia de consumo de pescado en el día, forma como consumen el pescado y la especie que consumen con mayor frecuencia (**Anexo 5**). Las encuestas fueron realizadas durante 4 fines de semana, en días sábado, con una duración de cinco horas para cada sesión, las cuales iniciaron a las 8:00 am y terminaron a la 1:00 pm específicamente en las secciones cercanas a los refrigeradores donde se encuentran los pescados, se escogió este día específicamente, ya que generalmente la población lo utiliza para realizar sus compras según lo identificado en el diagnóstico visual (**Anexo 2**). Las encuestas fueron tabuladas en hojas de cálculos de Microsoft Excel y analizadas filtrando la información para determinar la media, los máximos y mínimos y la desviación estándar en general, y luego se realizó el mismo análisis estadístico para cada especie, esto con el fin de determinar el consumo promedio de los pescados estudiados (**Anexo 6**).

### **4.4. Riesgo potencial**

La evaluación del riesgo potencial por consumo de peces contaminados con Hg, se determinó, mediante la estimación del nivel de ingesta semanal de metilmercurio (ISMeHg<sup>+</sup>), utilizando la ecuación de la USEPA (1986):

$$\text{ISMeHg}^+ = \frac{[(\text{kg pescado ingeridos por semana}) * (\mu\text{g Hg} / \text{kg de pescado} * 0.90)]}{(\text{kg peso corporal de la persona expuesta})} \quad (1)$$

Además se cuantificó la concentración permisible de metilmercurio en pescado para consumo humano. Teniendo en cuenta los valores de la  $\text{ISMeHg}^+$  y la cantidad de pescado ingerida por semana, así mismo, se estima la concentración de  $\text{MeHg}^+$  que deberían tener los especies consumidas para que su  $\text{ISMeHg}^+$  no exceda la establecida por la JECFA (2003) . La  $[\text{MeHg}^+]$  se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$[\text{MeHg}^+] \text{ permisible} = \frac{([\text{MeHg}^+] \text{ en el pez } (\mu\text{g/g}) * 1.6 \mu\text{g/kg/semana})}{\text{ISMeHg}^+ \text{ en el area de estudio } (\mu\text{g/kg/semana})} \quad (2)$$

De igual forma la máxima cantidad de pescado que puede ser consumida semanalmente por las personas que participaron del estudio es calculada para que su  $\text{ISMeHg}^+$  no exceda el valor de referencia (1.6  $\mu\text{g/kg/semana}$ ). Los cálculos se realizaron a través de la siguiente fórmula:

$$\text{CPSP} = \frac{(1.6 \mu\text{g/kg/semana} * \text{CPS (g de pescado consumido semanalmente)})}{\text{ISMeHg}^+ (\mu\text{g/kg/semana}) \text{ en el área de estudio}} \quad (3)$$

#### **4.5. Análisis estadísticos**

A los datos obtenidos se les aplicó un análisis exploratorio con la prueba de Kolmogorov-Smirnov para probar su normalidad. Posteriormente, los resultados son presentados como el promedio ( $\pm$ ) las desviaciones estándares de las muestras analizadas por duplicado. Además se implementó el método Diferencia Mínima Significativa (LSD) de Fisher para determinar la existencia de diferencias significativas entre las concentraciones obtenidas a nivel interespecífico es decir, la relación entre dos o más especies diferentes. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el programa SPSS 22 (Corp, 2013) , con un nivel de significancia de  $P \geq 0.05$ .

## 5. Resultados y Análisis

### 5.1. Control de calidad del método

La **Tabla 2** presenta los resultados de la determinación de Hg-T en el material de referencia certificado, evidenciando la exactitud y precisión (cv) del método IAEA-407 (Agencia Internacional de Energía Atómica, 2003). Para lo cual, la concentración de mercurio estuvo dentro del rango, con un porcentaje de recuperación del 94.5% y con un límite de detección del metal de 0.014  $\mu\text{g/g}$ .

**Tabla 2. Evaluación de la exactitud y precisión del método analítico con base en material de referencia certificado.**

<b>MATERIAL DE REFERENCIA CERTIFICADO (CRM)</b>		
Material Certificado	Hg	Unidad
Valor Certificado ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$0.222 \pm 0.006$	$\mu\text{g g}^{-1}$
Valor Encontrado	$0.21 \pm 0.012$	( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (n=6)
CV	4.3	%
Recuperación	94.5	%

**Fuente:** Autores

### 5.2. Concentraciones de mercurio (Hg) en especies de peces

Se presentan las diferentes especies ícticas importadas y comercializadas en la ciudad de Barranquilla con su respectivo promedio y desviación estándar a partir de las

concentraciones de mercurio obtenidas (dichas concentraciones son presentadas en el **Anexo 1**).

En la **Tabla 3** se evidencia que las concentraciones más altas de mercurio se presenciaron en la marca comercial Atún Medalla de Oro con un promedio de  $0.0911 \pm 0.0181 \mu\text{g/g}$ , seguida de la especie *Prochilodus reticulatus* (Bocachico Venezolano) con un promedio de  $0.0793 \pm 0.0251 \mu\text{g/g}$ . Sin embargo, la especie *Pangasius hypophthalmus* (Filete de Basa) presentó los niveles más bajos con un promedio de  $0.0185 \pm 0.0073 \mu\text{g/g}$ .

**Tabla 3.** Especies ícticas importadas y comercializadas en la ciudad de Barranquilla (M: promedio, R: ramoneador, O: omnívoro, P: Planctófaga, D: detritívoro, C: Carnívoro, S: desviación estándar, Rango: mínimo - máximo ( $\mu\text{g/g}$ )).

Nombre científico	Nombre común	N	Hábito	Hg ( $\mu\text{g/g}$ )	
				M $\pm$ S	Rango
<i>Prochilodus reticulatus</i>	Bocachico Venezolano	10	D	$0.0793 \pm 0.0251$	0.0425-0.112
<i>Prochilodus lineatus</i>	Bocachico Argentino	10	D	$0.0462 \pm 0.0094$	0.034-0.064
<i>Pangasius hypophthalmus</i>	Filete de Basa	10	O	$0.0185 \pm 0.0073$	0.01-0.032
-	Sardina Van Premium Camp's	10	P	$0.0379 \pm 0.0053$	0.031-0.045
-	Atún Medalla de Oro	10	C	$0.0911 \pm 0.0181$	0.065-0.131

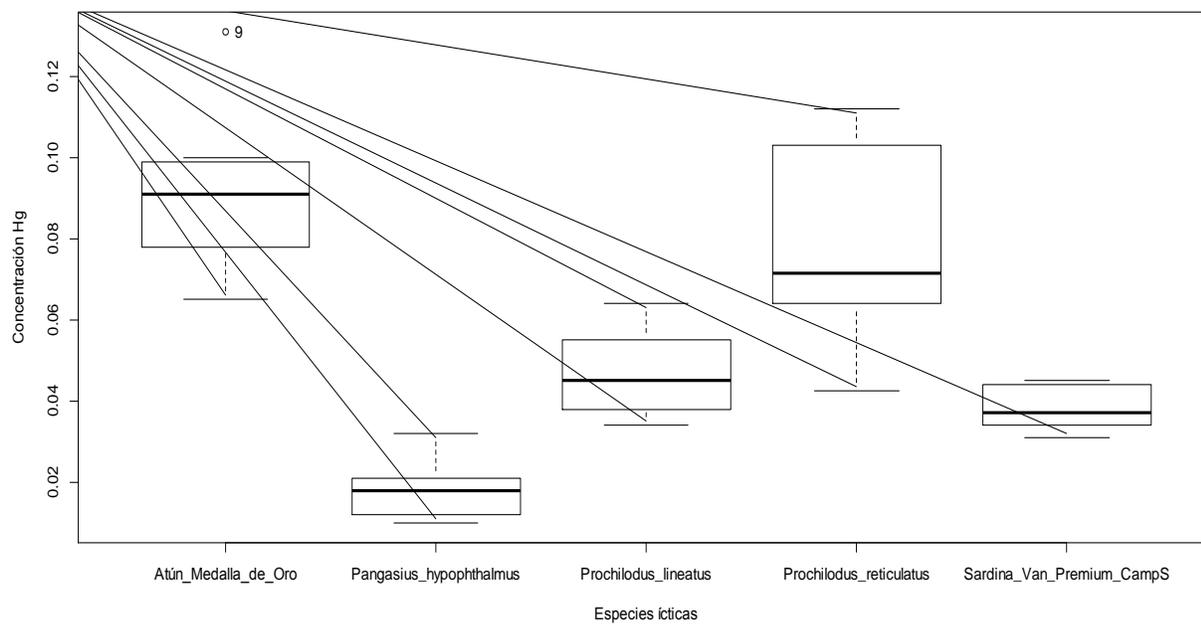
**Fuente:** Autores

El mercurio se concentró en las especies de la siguiente manera: *Atún Medalla de Oro* > *Prochilodus reticulatus* > *Prochilodus lineatus* > *Sardina Van Premium Camp's*

> *Pangasius hypophthalmus*, con promedios de:  $0.0911 \pm 0.0181$ ,  $0.0793 \pm 0.0251$ ,  $0.0462 \pm 0.0094$ ,  $0.0379 \pm 0.0053$  y  $0.0185 \pm 0.0073$   $\mu\text{g/g}$ , respectivamente.

Muchos estudios reportan una correlación positiva entre los niveles tróficos y las concentraciones de Hg en los peces, evidenciándose una biomagnificación de Hg en los organismos que tienen los niveles tróficos más elevados (Tadiso et al., 2011, Carrasco et al., 2011, Costa & Lacerda, 2014). Lo anterior coincide con las concentraciones encontradas en la investigación debido a que el atún presentó las mayores concentraciones de mercurio. De igual forma, algunas investigaciones muestran que la bioacumulación y biomagnificación de Hg en los peces también depende de su hábitat, tamaño (peso corporal y la longitud), género, edad, tipos de tejidos analizados, y condiciones fisiológicas (Naeem et al., 2011).

Las concentraciones de Hg variaron según el tipo de especie, sin embargo, para conocer los grupos homogéneos o similitud de concentración en las mencionadas especies se implementó el método de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

**Gráfica 1. Organización de grupos homogéneos a partir del valor de las medias.**

**Fuente:** Autores.

En la **Gráfica 1** se observa que existe diferencia significativa de las concentraciones de mercurio entre las especies, sin embargo, se presentó ciertos grupos homogéneos como también se pueden evidenciar en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Organización de grupos homogéneos a partir del valor de las medias.

Nombre científico	N	Media	Grupos Homogéneos
<i>Pangasius hypophthalmus</i>	10	0.0185	X
<i>Sardina Van Premium Camp's</i>	10	0.0379	X
<i>Prochilodus lineatus</i>	10	0.0462	X
<i>Prochilodus reticulatus</i>	10	0.07935	X
<i>Atún Medalla de Oro</i>	10	0.0911	X

**Fuente:** Autores.

Se presentan tres grupos homogéneos: La Sardina Van Premium y la especie *Prochilodus lineatus* con medias de 0.0379 y 0.0462, dentro del segundo grupo homogéneo se encuentra la especie *Prochilodus reticulatus* y el Atún Medalla de Oro, con valores de medias de 0.07935 y 0.0911, finalmente la especie *Pangasius hypophthalmus* con una media de 0.0185 es la menor concentración obtenida en las especies estudiadas.

### 5.2.1. Comparación de las concentraciones de Hg obtenidas con otros estudios.

**Tabla 5.** Comparación de concentraciones de mercurio en los peces estudiados con otras referencias. Los resultados son expresados como  $M \pm S$ : promedio-desviación estándar y el rango (mínimo-máximo ( $\mu\text{g/g}$ )).

Referencias	Nombre científico	Hg ( $\mu\text{g/g}$ )	
		$M \pm S$	Rango
Teodoro, 2007	<i>Prochilodus sp</i>	-	0.062-0.378
Marquez et al., 2004	<i>Prochilodus sp</i>	0.108 $\pm$ 0.045	0.063-0.177
Costa & Lacerda, 2014	<i>Prochilodus sp</i>	0.004 $\pm$ 0.0024	0.001-0.0084
Kwon et al., 2012	<i>Prochilodus sp</i>	0.33 $\pm$ 0.11	-
Ferrantelli et al., 2012	<i>Pangasius hypophthalmus</i>	0.41 $\pm$ 0.08	0.31-0.59
Mok et al., 2012	<i>Pangasius hypophthalmus</i>	0.099 $\pm$ 0.007	-
Ferriss et al., 2011	<i>Thunnus sp</i>	0.3 $\pm$ 0.1	0.3-0.7
Bosch et al., 2015	<i>Thunnus sp</i>	0.654 $\pm$ 0.209	0.23-1.24
Olmedo et al., 2013	<i>Thunnus sp</i>	0.470	0.298-0.779
Sánchez, 2011	<i>Thunnus sp</i>	1.354 $\pm$ 0.660	-
Ruelas & Páez, 2005	<i>Opisthonema libertate</i>	0.21	-
Ruelas & Páez, 2011	<i>Opisthonema libertate</i>	0.1	-
Actual estudio	<i>Prochilodus reticulatus</i>	0.0793 $\pm$ 0.0251	0.0425-0.112
Actual estudio	<i>Prochilodus lineatus</i>	0.0462 $\pm$ 0.0094	0.034-0.064
Actual estudio	<i>Pangasius hypophthalmus</i>	0.0185 $\pm$ 0.0073	0.01-0.032
Actual estudio	- (Sardina Van Premium Camp's)	0.0379 $\pm$ 0.0053	0.031-0.045
Actual estudio	- (Atún Medalla de Oro)	0.0911 $\pm$ 0.0181	0.065-0.131

**Fuente:** Autores.

En la **Tabla 5** se observa que los valores obtenidos en los estudios de Teodoro (2007) y Marquez, et al., (2004), tienen un rango más cercano al obtenido en el presente

estudio para el *Prochilodus reticulatus*, que al rango obtenido para el *Prochilodus lineatus*. Cabe anotar que la cercanía en los valores, se debe a que estas dos especies pertenecen al mismo género que es *Prochilodus* y las concentraciones no se encuentran tan alejadas a las reportadas por otros estudios para especímenes de este género. Así mismo, al realizar las comparaciones pertinentes con los resultados encontrados en los estudios de Costa & Lacerda (2014) las concentraciones de mercurio en estos especímenes son menores a las obtenidas en el presente, tanto para *Prochilodus lineatus* como para *Prochilodus reticulatus*, posiblemente esto se presentó debido a que el lugar de muestreo de los especímenes para ese estudio es una zona de baja contaminación ambiental exactamente en el río Jaguaribe cuenca baja y una región adyacente en la costa noreste de Brasil. En cuanto a las concentraciones de mercurio que arrojaron los estudios de Kwon et al (2012), se observa, que el promedio y la desviación estándar de concentración de mercurio, se encuentran muy por encima de los resultados obtenidos en esta investigación, lo cual se atribuye puntualmente al lugar de recolección de muestras en el río Las Marías, que es una corriente del monte andino en el norte de Venezuela, donde se realiza pesca de subsistencia, probablemente esté recibiendo vertimientos industriales y de explotación minera con niveles de mercurio, generando así una mayor biodisponibilidad de este metal tanto en el sedimento como en el agua, lo cual conlleva a la bioacumulación de altos niveles de mercurio en los especímenes del género *Prochilodus* y de otras especies presentes en el cuerpo de agua.

El *Pangasius hypophthalmus* estudiado por Ferrantelli et al (2012), no posee valores nada cercanos a los valores obtenidos para esta especie en el presente estudio, probablemente esto se debe a que Ferrantelli et al, posee un mayor número de especímenes estudiados. A su vez, el estudio realizado por Mok et al (2012), sobre esta misma especie posee unos valores de promedio y desviación estándar superiores a los reportados en este estudio. No obstante, no se logró identificar según su estudio cual es el rango máximo y mínimo en el que se encuentra la concentración de mercurio para esos especímenes.

Por su parte, el Atún a pesar de poseer las mayores concentraciones de Hg en el actual estudio son menores a las reportadas por Ferriss et al (2001), Bosch et al (2015), Olmedo et al (2013) y Sánchez (2001).

Finalmente, en cuanto a las concentraciones de la Sardina, se realizó la comparación con los estudios realizados por Ruelas & Paz (2005) y (2011), para los cuales los resultados obtenidos en lo que concierne al promedio y desviación estándar, sus valores son superiores a los encontrados en el presente estudio. Pero la diferencia entre el rango máximo y mínimo de concentración no se puede evaluar ya que los autores no exponen estos valores en sus artículos.

### 5.2.2. Comparación de las concentraciones de Hg obtenidas en relación a las zonas de ventas.

En la **Tabla 6** se evidencian las concentraciones más altas en las especies estudiadas obtenidas a partir de los resultados (**Anexo 1**) en relación con las zonas de ventas.

**Tabla 6.** Comparación de concentraciones de mercurio en los peces estudiados en relación a las zonas de ventas.

Especie	Zona 1 (µg/g)	Zona 2 (µg/g)		Zona 3 (µg/g)	Zona 4 (µg/g)
		Distribuidor 1	Distribuidor 2		
<i>Prochilodus lineatus</i>	0,045			0,064	
<i>Pangasius hypophthalmus</i>		0.018	0.032		
<i>Prochilodus reticulatus</i>					0,112
<i>Sardina Van Premium Camp's</i>	0,045				
<i>Atún Medalla de Oro</i>	0,131				

**Fuente:** Autores.

Se evidencia que la zona 1 fue donde se obtuvo la marca comercial *Atún Medalla de Oro* presentando la mayor concentración de mercurio con un valor de 0,131 µg/g, seguida de la zona 4 para la especie *Prochilodus reticulatus* con valor de 0,112. En cuanto a la especie *Prochilodus lineatus* su mayor concentración se presentó en la zona 3 con un valor de 0,064 µg/g, comparada con la zona 1 donde su concentración fue más baja con un valor de 0,045 µg/g. Para la marca comercial *Sardina Van Premium Camp's* en la zona 1 presento una concentración de 0,045 µg/g, y la menor concentración registrada

fue en la especie *Pangasius hypophthalmus* en la zona 2 con dos distribuidores, en el distribuidor 2 con una concentración de 0.032 µg/g y su distribuidor 1 con un valor menor de 0.018 µg/g.

Las concentraciones de mercurio se presentó en las especies con relación a su zona de venta de la siguiente manera: Zona 1 > Zona 4 > Zona 3 > Zona 2, respectivamente.

### **5.3. Evaluación del Riesgo Potencial**

En cuanto al riesgo potencial para la salud humana, en la **Tabla 7** se presenta la ingesta semanal de metilmercurio (ISMeHg<sup>+</sup>), la concentración permisible de metilmercurio (MeHg<sup>+</sup>) y la cantidad de pescado que se puede consumir semanalmente (CPCS) de las especies estudiadas Bocachico Venezolano (*Prochilodus reticulatus*), Bocachico Argentino (*Prochilodus lineatus*), Basa (*Pangasius hypophthalmus*), y los enlatados Sardina Van Premium Camp's y Atún Medalla de Oro.

**Tabla 7.** Evaluación del Riesgo Potencial para la salud humana de la población Barranquillera, que consume el pescado importado objeto de estudio.

Especie	Nombre científico	ISMeHg <sup>+</sup> (µg/kg)	MeHg <sup>+</sup> permisible (µg/g)	CPSP (g)
Bocachico Venezolano	<i>Prochilodus reticulatus</i>	0.3070	0.4135	14.872.182
Bocachico Argentino	<i>Prochilodus lineatus</i>	0.178	0.4153	25.650.337
Basa	<i>Pangasius hypophthalmus</i>	0.071	0.4169	6430.65
Sardina Van Premium Camp's	-	0.1463	0.4145	3120.82
Atún Medalla de Oro	-	0.3518	0.4143	12.978.283

**Fuente:** Autores.

A partir de la encuesta realizada a 240 habitantes de la ciudad de Barranquilla, se pudo definir que de la población encuestada, 125 personas consumen pescado una vez a la semana y 186 personas consumen este pescado en una comida al día (**Anexo 6**), así mismo se pudo definir que existe mayor inclinación por parte de la población hacia los pescados nativos y no los importados, lo cual es indicio de que el Riesgo Potencial para la salud humana, no presenta un valor significativo en ninguna de las especies estudiadas ya que, según la **Tabla 7** las concentraciones de mercurio obtenidas para las especies ícticas de estudio son bajas en su tejido muscular, variable que también interfiere en la estimación del Riesgo, que no supera los 0.4 µg/kg/semana. Así mismo, la concentración de metilmercurio no supera en ninguna de las especies la ingesta semanal permitida según la JECFA, la cual es de 1.6 µg/kg/semana, ni el límite máximo de mercurio

permitido en productos pesqueros por la Resolución 122 de 2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia que es de 0.5 mg/kg (0.5 µg/g). Se evidencia entonces que de los especímenes de estudio, el mayor valor obtenido fue de 0.3518 µg/kg/semana para el Atún Medalla de Oro y el menor valor se presentó en la Basa (*Pangasius hypophthalmus*) con un valor de 0.071 µg/kg/semana (**Anexo 3**).

Por lo anterior, según el cálculo de la cantidad de pescado que puede ser consumida, da como resultado cantidades considerables de ingesta para las diferentes especies de estudio, pues ninguna de estas como se mencionó anteriormente supera los límites máximos permisibles según la JECFA ni la Resolución 122 de 2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

## 6. Conclusión

A partir de la investigación realizada se pudo determinar las concentraciones de mercurio y metilmercurio en el tejido muscular las especies ícticas importadas y comercializadas en la ciudad de Barranquilla, como los son; *Prochilodus lineatus* el (Bocachico Argentino), *Pangasius hypophthalmus* (Basa), *Prochilodus reticulatus* (Bocachico Venezolano) y los enlatados Sardina Van Premium Cam's y Atún Medalla de Oro, no presentan un alto riesgo potencial para la salud de los Barranquilleros que consumen las mencionas especies de pescado, debido a que los valores encontrados están muy por debajo la ingesta semanal permitida establecida por la JECFA, la cual tiene un valor de 1.6  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$ , de igual forma, ninguna de las concentraciones registradas en las especies de estudio superó el máximo nivel de mercurio establecido en la Resolución 122 de 2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (0.5  $\mu\text{g}/\text{g}$ ).

De las especies estudiadas se afirma que, la que presentó mayor riesgo potencial fue el correspondiente al Atún Medalla de oro cuyo habito trófico es carnívoro, con un valor de 0.3518  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$  y el menor valor lo obtuvo la Basa (*Pangasius hypophthalmus*) con 0.071  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$ .

En cuanto a la ingesta semanal de las especies de estudio con concentraciones de Hg la cantidad de pescado que puede ser consumida en gramos, es alta debido a que las

concentraciones de metilmercurio encontradas en el tejido muscular de las especies son bajas, por lo tanto, no presentan un riesgo para la salud humana.

Cabe resaltar, que la población Barranquillera encuestada para el presente estudio consume en mayor medida pescados nativos de la región, lo cual influye en la ingesta semanal de las especies ícticas, ya que el consumo general es bajo y se ingieren una vez a la semana en pocas cantidades.

## **7. Recomendaciones**

Se recomienda realizar un análisis de otros metales pesados como cadmio, plomo, níquel, entre otros, que puedan estar presentes en las especies ícticas importadas de estudio, para determinar la concentración de estos y los posibles efectos que pueden tener sobre la salud, así mismo se hace necesario mantener informadas a las autoridades y entidades a quienes competan tomar las medidas necesarias de control para mantener los estándares de calidad del alimento, en base a las concentraciones de metales pesados presentes en las especies.

Es importante realizar investigaciones que analicen los mecanismos fisiológicos que tienen los peces en respuestas a los contaminantes, especialmente, con los niveles de metales pesado en especies importadas y nativas las cuales sean consumidas en mayor proporción en la ciudad de Barranquilla.

## Referencias

- Álvarez, F., & Rojas, L. (2009). Contenido de Mercurio total en peces de consumo habitual en los asentamientos indígenas. El plomo y el Casabe – Estado Bolívar. *Universidad, ciencia y tecnología*, 13, 97-102.
- Álvarez, S., Palacio, J., Jessick, A., Kolok, A., (2012). Methylmercury concentrations in six fish species from two Colombian rivers. *Bull Environ Contam Toxicol*, 88:65–68.
- Ale, A., & Medina, M. (2015). Evaluacion de metales presentes en aguas del rio Hondo, Argentina . *Contaminacion de sistemas acuaticos: evaluacion y manejo*, 2-42.
- Agency, I. A. (2003). IAEA-407. *Trace elements and methylmercury in fish tissue*. Vienna, Austria.
- Alvarez, S., & Jessick, A. (2012). Methylmercury Concentrations in Six Fish Species from Two Colombian Rivers. *Bull Environ Contam Toxicol*, 88(1), 65–68.
- Andrews, S. Fastqc, (2010). *A quality control tool for high throughput sequence data*.
- Augen, J. (2004). *Bioinformatics in the post-genomic era: Genome, transcriptome, proteome, and information-based medicine*. Addison-Wesley Professional.
- Berntssen, M., Astland, A., & Handy, R. (2003). Chronic dietary mercury exposure causes oxidative stress, brain lesions, and altered behaviour in Atlantic salmon(salmo salar). *Parr. Aquat Toxicol*, 65, 55-72.

- Besada, V., González, J., & Schultze, F. (2006). Concentraciones de mercurio, cadmio, plomo, arsénico, cobre y zinc en atún blanco, rabil y patudo. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*(32(2)), 439-445. Obtenido de Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
- Blankenberg, D., Kuster, G. V., Coraor, N., Ananda, G., Lazarus, R., Mangan, M... & Taylor, J. (2010). Galaxy: *a web-based genome analysis tool for experimentalists. Current protocols in molecular biology*, 19-10.
- Blasco, R., Caballero, F., Castillo, F., Conrado, V., Huertas, M., Luque, M., & Roldan, M. (2005). *Biotecnología Ambiental*. Madrid: Tébar.
- Brachet, R., Durrieu, G., Dominique, y., & Boudou, A. (2006). Mercury distribution in fish organs and food regimes: significant relationships from twelve species collected in French Guiana (Amazonian Basin). *Sci Total Environ.*, 368(1), 262-270.
- Bolger, A., & Giorgi, F. Trimmomatic: *A Flexible Read Trimming Tool for Illumina NGS Data*. URL <http://www.usadellab.org/cms/index.php>.
- Bosch, A.C., O'Neill, B., Sigge G.O., Kerwath, S. E., & Hoffman, L.C. (2015). Mercury accumulation in Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) with regards to muscle type, muscle position and fish size. *Foodchem*, 351-356. Doi: 10.1016/j.
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2011). Mercury and selenium levels in 19 species of saltwater fish from New Jersey as a function of species, size, and season. *Sci Total Environ*, 409(8), 1418-1429.

- Cabañero, A. (2005). Acumulación-Interacción de especies de mercurio y selenio en tejidos animales: Desarrollo de nuevas metodologías de análisis. *Tesis Doctoral*. Madrid.
- Cameán, A., & Repetto, M. (2012). *Toxicología Alimentaria*. Madrid: Díaz de Santos, S.A.
- Carrasco, L., Benejam L., Bayona, JM., Diez S. 2011. Methylmercury levels and bioaccumulation in the aquatic food web of a highly mercury-contaminated reservoir. *Environmental International*, 37, 1213–1218.
- Castillo, F. (2005). *Biotecnología Ambiental*.
- Chachid A, H. M. (2014). Contents of cadmium, mercury and lead in fish from the Atlantic sea (Morocco) determined by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 357-360.
- Chota, W., & Garcia, C. (2014). calidad ambiental de los ríos Curaray , Arabela y Napo (Loreto, Perú). *Folia Amazonica Vol. 23*, 157-170.
- CORMAGDALENA. (2005). Barranquilla, ciudad con río y mar.
- Corp, I. (2013). IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Costa B. G. B. & Lacerda. L. D. (2014). Mercury (Hg) in fish consumed by the local population of the Jaguaribe River lower basin, Northeast Brazil. *Environ Sci Pollut Res* 21:13335–13341.

- EFSA. (2012). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of.
- Escobar, O. (2011). *Instituto Politecnico Nacional*. Obtenido de Bioacumulación y Biomagnificación de mercurio y selenio en peces pelágicos mayores de la Costa Occidental de Baja California Sur, México.: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/16358>
- Español, S. (2006). Evolución Histórica del Mercurio. *Seminario Internacional sobre Clinica del Mercurio. Memorias* (pág. 33). Bogotá: Kimpres. Ltda.
- FAO. (2015). Fisheries and Aquaculture Department - *Pangasius hypophthalmus*. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- FAO. (2010). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Opisthonema libertate*.
- Franco, A., & León, I., 2012. Bioaccumulation of trace metals in *Mugil incilis* (Hancock, 1830); a useful tool for biomonitoring of the metallic contamination in the coastline of the department of the Atlántico - Colombia. "Mugil incilis bioindicator of the metallic contamination on the coastline". *Costas*, 1, 98-106.
- Fernández, A. (2001). Especiación química y física de metales en la materia particulada atmosférica: aplicación al estudio de la contaminación ambiental en la ciudad de Sevilla. Sevilla.

- Ferrantelli, V., Giangrosso, G., Cicero, A., Naccari, C., Macaluso, A., Galvano, F., & ...  
Naccari, F. (2012). Evaluation of mercury levels in Pangasius and Cod fillets traded in Sicily (Italy). *Food Additives & Contaminants. Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 29(7), 1046-1051. doi:10.1080/19440049.2012.675595
- Ferriss, B. E., Essington, T. E., & Kidd, K. (2011). Regional patterns in mercury and selenium concentrations of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Pacific Ocean. *Canadian Journal Of Fisheries & Aquatic Sciences*, 68(12), 2046-2056. doi:10.1139/f2011-120
- Fuentes, F. (2014). Determinación de metales pesados (Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Cd y Hg) en especies ícticas de la ciénaga de Mallorca y riesgo potencial para la salud humana.
- FDA. (2000). *Mercury Levels in Various Fish FDA has undertaken*. U.S. Food and Drug Administration: Protecting and Promoting Your Health.
- Foulke, J.E. 1999. "Mercury in fish: cause for concern?" FDA Consumer 1 – 6
- García, G., & Luque, M., 2008. Analysis of heavy metals (Cd, Cr, Fe, Pb and Zn) in the muscle tissue of *Eugerres plumieri* and *Mugil incilis* from the Mallorca swamp, Atlántico. Degree work. "Universidad del Atlántico, Barranquilla.
- Giardine, B., Riemer, C., Hardison, R. C., Burhans, R., Elnitski, L., Shah, P... & Nekrutenko, A. (2005). *Galaxy: a platform for interactive large-scale genome analysis*. *Genome research*, 15(10), 1451-1455.

- Gil, A. (2010). *Tratado de Nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos*. España: Panamericana.
- González, N & Solis, E, (2010). Características biológico - pesqueras y proceso de elaboración de enlatados de la pinchagua (*Opisthonema spp.*) en Ecuador. *Boletín Científico y Técnico*, 20 (7), 19-46
- Gracia, L., Marrugo, J., & Alvis, E. (2010). Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 28(2), 118-124.
- Greenwood, M. (1985). Methylmercury poisoning in Iraq. An epidemiological study of the 1971-1972 outbreak. *J Appl Toxicol.*, 5(3), 148-159.
- Gupta, A., Rai, D., Pandey, R., & Sharma, B. (2009). Analysis of some heavy metals in the riverane water, sediments and fish from river Ganges at Allahabad. *Environ Monit Assess.*, 157(1-4), 449-458.
- Harada, M. (2000). *Enfermedad de Minamata y la contaminación por mercurio del Globo*. Obtenido de <http://www.einap.org/envdis/Minamata.html>
- Hatoyama, M. d. (2013). *Enseñanzas de la Enfermedad de Minamata y el Manejo del Mercurio en*. Obtenido de [http://www.env.go.jp/chemi/tmms/pr-m/mat01/es\\_full.pdf](http://www.env.go.jp/chemi/tmms/pr-m/mat01/es_full.pdf)

- Houserova, P., Kuban, V., P, S., & Habarta, P. (2006). Determination of total mercury and mercury species in fish and aquatic ecosystems of Moravian rivers. *Veterinami Medicina, 51(3)*, 101-110.
- ICONTEC (2009). NTC 1443. Productos de la pesca y la acuicultura. Pescado entero, medallones y trozos, refrigerados o congelados. Ingeniería de Alimentos.
- INVEMAR. 2004. Technical Report about the first monitor of heavy metals in water, sediments and organisms of the Mallorquín swamp, department of the Atlántico.
- JECFA. (2003). JOINT FAO/WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES. *JECFA/61/SC*, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Jopia, C. T. (2010). Corporación de Desarrollo Social del Sector Rural. *Informe atún de aleta amarilla*.
- Kerin, E., Gilmour, C., Roden, E., Suzuki, M., Coates, J., & Mason, R. (2006). Mercury methylation by dissimilatory iron-reducing bacteria. *Appl Environ Microbiology, 72(12)*, 7919-7921.
- Kwon Sae Yun., McIntyre Peter B, Flecker Alexander S, Campbell Linda M. (2012). Mercury biomagnification in the food web of a neotropical stream. *Science of the Total Environment* 417–418.
- Lama, M. j. (2012). Atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*). *Pesca marítima y continental*, 1-20.
- Lancheros, L. (2014). Contenido de Mercurio en músculo de algunas especies de interés comercial presentes en ocho sitios de muestreo de la cuenca (baja, medio y alta)

del río Magdalena. *Repository.unimilitar*, 2. Obtenido de <http://repository.unimilitar.edu.co>.

- Leon, & Castillo. (2008). Estudio sobre la distribución de *Pangasius Spp.* *Canaest Consultores*, 1-65.
- León, H. U. (2001). Desarrollo embrionario y larval del bocachico *Prochilodus reticulatus* (Valenciennes 1849) (Cypriniformes: Prochilodontidae). *Centro de investigaciones biológicas, universidad Zulia- Venezuela*, 25-41.
- Llop, S., Ibarlucea, J., Sunyer, J., & Ferran, B. (2013). Estado actual sobre la exposición alimentaria al mercurio durante el embarazo y la infancia, y recomendaciones en salud pública. *Gac Sanit*, 27 (3), 273-278.
- Mancera, N., & Alvarez, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23.
- Marquez, L., Da Silva, V., De Campos, R. (2004). Níveis de mercúrio total na carne de peixes como indicadores de contaminação em sistemas aquáticos do Pantanal. IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-economicos do Pantanal Corumbá/MS. Rio de Janeiro, Brasil.
- Marrugo, J., Lans, E., & Benítez, L. (2007). Hallazgo de Mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Rev.MVZ Córdoba*, 12(1), 878- 886.

- Marrugo-Negrete J, Benítez L, Olivero-Verbel J, Lans E, Vazquez F., (2010). Spatial and seasonal mercury distribution in the Ayapel Marsh, Mojana region, Colombia. *Int J Environ Health Res*; 20 (6): 451-459.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). Resolución 122 Por la cual se modifica principalmente la Resolución 776 de 2008.
- Mok Wen Jye, Senoo Shigeharu, Itoh Tomohiro, Tsukamasa Yasuyuki, Kawasaki Ken-ichi, Ando Masashi. (2012). Assessment of concentrations of toxic elements in aquaculture food products in Malaysia. *Food Chemistry* 133 1326–1332.
- Morell, I., & Hernández, F. (2000). *El agua en Castellón un reto para el siglo XXI*. Publicaciones de la Universidad Jaume I.
- MSAL. (2007). Código Alimentario. *Ministerio de salud de la nacion, Argentina*.
- Naranjo, J., Zambrano, F., Uribe, F., Ramirez, K., Vargas, J., & Rondón, I. (2014). Efectos inmunotoxicológicos e histopatológicos de la exposición a concentraciones subletales de cloruro de mercurio (HgCl<sub>2</sub>) en cachama blanca (*Piractus brachypomus*). *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 9(1), 26-42.
- NRC. (2000). Toxicological effects of methylmercury, Committee on the toxicological effects of methylmercury, Board on Environmental Studies and Toxicology, Commission of Life Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington DC.
- Olivero, J., Jhonson, B., Arguello, E., (2002). Human exposure to mercury due to fish consumption in San Jorge river basin, Colombia (South America). *Sci Total Environ*, 289, 41- 47.

- Olivero, J., Johnson, B., Mendoza, C., Paz, R., Olivero, R., 2004. Mercury in the aquatic environment of The Village of Caimito at The Mojana Region, North of Colombia. *Water Air Soil Pollut*, 159, 409-420.
- Olivero, V., Caballero, G., & Marrugo, N. (2011). Relationship between localization of gold mining areas and hair mercury levels in people from Bolívar, North of Colombia. *Biological Trace Elem Res*, 144, 118-132.
- Olmedo P., Pla A., Hernández A.F., Barbier F., Ayouni L., Gil F. (2013). Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers. *Environment International* 63–72.
- OMS. (2004). Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad de agua potable*. Ginebra.
- OMS. (2008). GUIDANCE FOR IDENTIFYING POPULATIONS. *Organizacion Mundial de la Salud*.
- Ortega, M. (2014). Niveles de plomo y mercurio en muestras de carne importada y local. *Revista Pediatría EU.*, 51-54.
- Otero, A. (2001). *MEDIO AMBIENTE Y EDUCACION*. MEXICO: S.R.L.
- Pedraza, L., 2009. Analysis of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Fe, Cr) in the Clam Tivela mactroides (Born 1778) of the Mallorquín swamp, Department of the Atlántico. Degree work. “Universidad del Atlántico, Barranquilla.

- Pirrone, N. (2013). tough talk over mercury treaty Nations debate how to share the costs of cutting emissions. *Nature*, 144-145. (J. Qui, Interviewer)
- Planes, E., & Funchs, J. (2015). Aportes de la ecotoxicología a las regulaciones ambientales. *Ciencia e investigacion* , Tomo 65, N°2 pag. 45-62.
- PNRQ (Programa Nacional de Riesgos Químicos). (2008). Mercurio: cartilla informativa. Programa Nacional de Riesgos Químicos, departamento de salud ambiental, dirección nacional de determinantes de la salud e investigación, ministerio de salud nacional. Buenos Aires, Argentina: PNRQ. [En línea, accesado en Abril 18 de 2010]. URL disponible en: <http://www.fmed.uba.ar/depto/toxico1/mercurio.pdf>.
- PNUMA. (2005). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. *Productos Químicos. Evaluación Mundial sobre el Mercurio*. Ginebra.
- Raimann, X., Rodríguez, L., Chavéz, P., & Torrejón, C. (2014). Mercurio en pescados y su importancia en la salud. *Revista Médica de Chile*, 142(9), 1174-1180.
- Rajeshkumar, S., & Munuswamy, N. (2011). Impact of metals on histopathology and expression of HSP 70 different tissues of milk fish (chanos chanos) of Kaattuppalli Island, India. *Chemosphere*, 83, 415-421.
- Rodríguez, R. (2000). *Aportaciones al conocimiento del estado medioambiental de hidrosistemas de interes internacional situados en Castilla-La Mancha*. España: Universidad de Castilla - La Mancha.

- Ruelas-Inzunza J, Páez-Osuna F (2005) Mercury in fish and shark tissues from two coastal lagoons in the Gulf of California, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol* 74:294–300.
- Ruelas-Inzunza J, Páez-Osuna F (2011) Health Risk Associated to Dietary Intake of Mercury in Selected Coastal Areas of Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol* 86:180–188
- Ruiz, J., & Marrugo, J. (2014). Human Exposure to Mercury Through Fish Consumption: Risk Assessment of Riverside Inhabitants of the Urrá Reservoir, Colombia. *Publisher: Taylor & Francis, 20*, 1151-1163.
- Sadiq, M., Zaidi, T., & Al-Mohana, M., 1991. Sample weight and digestion temperature as critical factors in mercury determination in fish. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 47, 335–341
- SAGPyA. (2007). SÁBALO (PROCHILODUS LINEATUS). *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos*.
- Sánchez Londoño Juan Manuel. (2011). Evaluación de la concentración de mercurio en diversas marcas de atún enlatado comercializadas en la ciudad de Cartagena de Indias. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de: Magíster en Toxicología. Universidad Nacional de Colombia. Pág 72.
- Salazar, R. (2009). Estado de conocimiento de las concentraciones de Mercurio y Plomo en organismos acuáticos. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria*, 10(11).
- Selin, N. (2009). Global biogeochemical cycling of mercury: a Review. *Annu Rev Environ resour*, 34, 43-63.

- Subsecretaria, & pesca. (2008). *Sardinops sagax*. *Subsecretaria de pesca - Chile*, Ficha pesquera 1-9.
- Tadiso, T., Borgstrom, R., & B, Rosseland. (2011). Mercury concentrations are low in commercial fish species of Lake Ziway, Ethiopia, but stable isotope data indicated biomagnification. *Ecotoxicol. Environ. Saf*, 74, 953–959
- Teodoro, E. (2007). Determinacion de mercurio en cerebro y musculo. *Universidad de Brasilia*.
- Trujillo, F., & Lasso, C. (2013). Evaluacion por la contaminacion por mercurio en peces de interes comercial y de la concentracion de organoclorados y organofosforados en el agua y sedimentos de la orinoquia. *cdn el universal*, págs. 175-191.
- UNEP. (2013). Global mercury assessment. (2013). sources, emissions, releases and environmental transport. UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland
- UNEP (2010). Actividades en curso de vigilancia. Comité intergubernamental de negociación encargado de elaborar un instrumento jurídicamente vinculante a nivel mundial sobre el mercurio. Segundo período de sesiones. Chiba (Japón).
- Uruy, Y., Malm, O., Thorton, I., Payne, I., & Cleary, D. (2001). Mercury contamination of fish and its implications for other wildlife of the Tapajós Basin, Brazilian Amazon. *Conservation Biology*, 15(2), 438-446.
- USEPA. (1997). United States Environmental Protection Agency. *Mercury Study Report to Congress*.

- Velasco, O., Echavarría, S. P., & Ignacio, V. (2001). Contenido de Mercurio y Arsénico en atún y sardinas enlatadas Mexicanas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 17(1), 31-35.
- Webb, M., Feist, G., Fitzpatrick, M., Foster, E., Schreck, C., Plumlee, M., & Gundersen, D. (2006). Mercury concentrations in gonad, liver, and muscle of white sturgeon *Acipenser transmontanus* in the Lower Columbia River. *Arch Environ Contam Toxicol*, 50(3), 443-451.
- WHO/IPCS. (1990). Methylmercury. Environmental Health Criteria No 101, World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety (IPCS), Geneva, Switzerland.
- Ying H, L. C. (2013). Trace elements in fish from Taihu Lake, China: Levels, associated risks, and trophic transfer. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 90, 89–97.
- Zang, R. (2001). Mercury concentration of fish in Tokyo bay and the surrounding sea area. *Japanese Journal of Hygiene*. 56(2), 492-499. Doi: 10.1007/BF00203752
- Zhang, H., Feng, X., Zhu, J., Sapkota, J., Meng, B., Yao, H., Qin, H. (2012). Selenium in soil inhibits mercury uptake and translocation in rice (*Oryza sativa* L.), *Environ. Sci. Technol.* 46 10040–10046
- Zuleta, L & Becerra, A. (2013). El mercado del atún en Colombia. Centro de Investigación Económica y social, Fedesarrollo, 61 p

**Anexos**

### Anexo 1. Concentraciones de Hg en muestras analizadas

**Tabla 8.** Concentración de Hg total en las especies de estudio.

MUESTRA	ESPECIE	PROCEDENCIA	Hg ( $\mu\text{g/g}$ )
1	Bocachico Argentino	Zona 1	0,037
2	Bocachico Argentino	Zona 1	0,045
3	Bocachico Argentino	Zona 1	0,043
4	Bocachico Argentino	Zona 1	0,034
5	Sardina Van Premium Camp's	Zona 1	0,031
6	Sardina Van Premium Camp's	Zona 1	0,038
7	Sardina Van Premium Camp's	Zona 1	0,045
8	Sardina Van Premium Camp's	Zona 1	0,044
9	Sardina Van Premium Camp's	Zona 1	0,04
10	Sardina Van Premium Camp's	Zona 1	0,034
11	Sardina Van Premium Camp's	Zona 1	0,036
12	Sardina Van Premium Camp's	Zona 1	0,034
13	Sardina Van Premium Camp's	Zona 1	0,032
14	Sardina Van Premium Camp's	Zona 1	0,045
15	Atún Medalla de Oro (En aceite)	Zona 1	0,072
16	Atún Medalla de Oro (En aceite)	Zona 1	0,065
17	Atún Medalla de Oro (En aceite)	Zona 1	0,091
18	Atún Medalla de Oro (En aceite)	Zona 1	0,078
19	Atún Medalla de Oro (En aceite)	Zona 1	0,091
20	Atún Medalla de Oro (En agua)	Zona 1	0,089
21	Atún Medalla de Oro (En agua)	Zona 1	0,1

22	Atún Medalla de Oro (En agua)	Zona 1	0,095
23	Atún Medalla de Oro (En agua)	Zona 1	0,131
24	Atún Medalla de Oro (En agua)	Zona 1	0,099
25	Fileta de Basa	Distribuidor 1 - Zona 2	0,018
26	Fileta de Basa	Distribuidor 1 - Zona 2	0,018
27	Fileta de Basa	Distribuidor 1 - Zona 2	0,012
28	Fileta de Basa	Distribuidor 1 - Zona 2	0,01
29	Fileta de Basa	Distribuidor 2 - Zona 2	0,029
30	Fileta de Basa	Distribuidor 2 - Zona 2	0,032
31	Fileta de Basa	Distribuidor 2 - Zona 2	0,016
32	Fileta de Basa	Distribuidor 2 - Zona 2	0,019
33	Fileta de Basa	Distribuidor 2 - Zona 2	0,021
34	Fileta de Basa	Distribuidor 2 - Zona 2	0,01
35	Bocachico Argentino	Zona 3	0,045
36	Bocachico Argentino	Zona 3	0,056
37	Bocachico Argentino	Zona 3	0,055
38	Bocachico Argentino	Zona 3	0,064
39	Bocachico Argentino	Zona 3	0,038
40	Bocachico Argentino	Zona 3	0,045
41	Bocachico Venezolano	Zona 4	0,064
42	Bocachico Venezolano	Zona 4	0,076
43	Bocachico Venezolano	Zona 4	0,053
44	Bocachico Venezolano	Zona 4	0,065
45	Bocachico Venezolano	Zona 4	0,109
46	Bocachico Venezolano	Zona 4	0,112
47	Bocachico Venezolano	Zona 4	0,0425
48	Bocachico Venezolano	Zona 4	0,067
49	Bocachico Venezolano	Zona 4	0,103
50	Bocachico Venezolano	Zona 4	0,102

---

**Fuente:** Autores.

## **Anexo 2. Diagnóstico sobre el consumo de pescado importado en habitantes de la ciudad de Barranquilla**

Día \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Año 2015

Punto de Venta: Zona 1 \_\_\_\_ Zona 2 \_\_\_\_ Zona 3 \_\_\_\_ Zona 4 \_\_\_\_ Otros \_\_\_\_

### **Diagnóstico en puntos de venta**

¿Qué especie importada vende con mayor frecuencia? Bocachico Argentino (1) \_\_\_\_\_, Basa (2) \_\_\_\_\_, Bocachico Venezolano (3) \_\_\_\_\_, Otros (4) \_\_\_\_\_, Cual \_\_\_\_\_.

¿Qué especie importada se encuentra durante mayor época del año? Bocachico Argentino (1) \_\_\_\_\_, Basa (2) \_\_\_\_\_, Bocachico Venezolano (3) \_\_\_\_\_, Otros (4) \_\_\_\_\_, Cual \_\_\_\_\_.

¿Qué tipo de enlatado se vende con mayor frecuencia? Sardina Van Premium Camp's (1) \_\_\_\_\_, Atún Medalla de Oro (2) \_\_\_\_\_ Otros (3) \_\_\_\_\_, Cual \_\_\_\_\_.

¿Qué día se presenta mayor ingreso por venta de pescado en la semana? (1) lunes \_\_\_\_\_ (2) Martes \_\_\_\_\_ (3) Miércoles \_\_\_\_\_ (4) Jueves \_\_\_\_\_ (5) Viernes \_\_\_\_\_ (6) Sábado \_\_\_\_\_ (7) Domingo \_\_\_\_\_

### **Diagnóstico visual**

Especies presentes en expendios de pescados: Bocachico Argentino (1) \_\_\_\_\_, Basa (2) \_\_\_\_\_, Bocachico Venezolano (3) \_\_\_\_\_, Otros (4) \_\_\_\_\_, Cual \_\_\_\_\_

Tipos de enlatados en venta: Sardina Van Premium Camp's (1) \_\_\_\_\_, Atún Medalla de Oro (2) \_\_\_\_\_ Otros (3) \_\_\_\_\_, cual \_\_\_\_\_

### Anexo 3. Riesgo potencial

Riesgo Potencial para consumo de Bocachico venezolano (*Prochilodus reticulatus*), según las encuestas realizadas y datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$IsMeHg^+ = \frac{(kg \text{ de pescado ingerido/semana})(\mu gHg/kg * 0.90)}{(kg \text{ de peso corporal de la persona expuesta})}$$

$$285.36g * \frac{1kg}{1000g} = 0.28536 kg$$

$$0.07935 \frac{\mu g}{g} * \frac{1000g}{kg} = 79.35 \frac{\mu g}{kg}$$

$$IsMeHg^+ = \frac{(0.28536kg/semana)(79.35\mu gHg/kg * 0.90)}{(66.5 kg)}$$

$$IsMeHg^+ = 0.3070 \mu g/kg/sem$$

Riesgo Potencial para consumo de Bocachico argentino (*Prochilodus lineatus*), según las encuestas realizadas y datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$IsMeHg^+ = \frac{(kg \text{ de pescado ingerido/semana})(\mu gHg/kg * 0.90)}{(kg \text{ de peso corporal de la persona expuesta})}$$

$$285.36g * \frac{1kg}{1000g} = 0.28536 kg$$

$$0.0462 \frac{\mu g}{g} * \frac{1000g}{kg} = 46.2 \frac{\mu g}{kg}$$

$$IsMeHg^+ = \frac{(0.28536kg/semana)(46.2\mu gHg/kg * 0.90)}{(66.5 kg)}$$

$$IsMeHg^+ = 0.178 \mu g/kg/sem$$

Riesgo Potencial para consumo de Basa (*Pangasius hypophthalmus*), según las encuestas realizadas y datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$IsMeHg^+ = \frac{(kg \text{ de pescado ingerido/semana})(\mu gHg/kg * 0.90)}{(kg \text{ de peso corporal de la persona expuesta})}$$

$$285.36g * \frac{1kg}{1000g} = 0.28536 kg$$

$$0.0185 \frac{\mu g}{g} * \frac{1000g}{kg} = 18.5 \frac{\mu g}{kg}$$

$$IsMeHg^+ = \frac{(0.28536kg/semana)(18.5\mu gHg/kg * 0.90)}{(66.5 kg)}$$

$$IsMeHg^+ = 0.071 \mu g/kg/sem$$

Riesgo Potencial para consumo de Sardina Van Premium Camp's, según las encuestas realizadas y datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$IsMeHg^+ = \frac{(kg \text{ de pescado ingerido/semana})(\mu gHg/kg * 0.90)}{(kg \text{ de peso corporal de la persona expuesta})}$$

$$285.36g * \frac{1kg}{1000g} = 0.28536 kg$$

$$0.0379 \frac{\mu g}{g} * \frac{1000g}{kg} = 37.9 \frac{\mu g}{kg}$$

$$IsMeHg^+ = \frac{(0.28536kg/semana)(37.9\mu gHg/kg * 0.90)}{(66.5 kg)}$$

$$IsMeHg^+ = 0.1463 \mu g/kg/sem$$

Riesgo Potencial para consumo de Atún Medalla de Oro, según las encuestas realizadas y datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$IsMeHg^+ = \frac{(kg \text{ de pescado ingerido/semana})(\mu gHg/kg * 0.90)}{(kg \text{ de peso corporal de la persona expuesta})}$$

$$285.36g * \frac{1kg}{1000g} = 0.28536 kg$$

$$0.0911 \frac{\mu g}{g} * \frac{1000g}{kg} = 91.1 \frac{\mu g}{kg}$$

$$IsMeHg^+ = \frac{(0.28536kg/semana)(91.1\mu gHg/kg * 0.90)}{(66.5 kg)}$$

$$IsMeHg^+ = 0.3518 \mu g/kg/sem$$

### Concentración permisible de Metilmercurio

Concentración permisible para consumo de Bocachico venezolano (*Prochilodus reticulatus*), según las encuestas realizadas y datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = \frac{[MeHg^+] \mu g/g * 1.6 \mu g/kg/semana}{IsMeHg^+ \text{ en el área de estudio } (\mu g/kg/semana)}$$

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = \frac{0.07935 \mu g/g * 1.6 \mu g/kg/semana}{0.3070 \mu g/kg/semana}$$

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = 0.4135 \mu g/g$$

Concentración permisible para consumo de Bocachico argentino (*Prochilodus lineatus*), según las encuestas realizadas y datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = \frac{[MeHg^+] \mu g/g * 1.6 \mu g/kg/semana}{IsMeHg^+ \text{ en el área de estudio } (\mu g/kg/semana)}$$

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = \frac{0.0462 \mu g/g * 1.6 \mu g/kg/semana}{0.178 \mu g/kg/semana}$$

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = 0.4135 \mu g/g$$

Concentración permisible para consumo de Basa (*Pangasius hypophthalmus*), según las encuestas realizadas y datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = \frac{[MeHg^+] \mu g/g * 1.6 \mu g/kg/semana}{IsMeHg^+ \text{ en el \acute{a}rea de estudio } (\mu g/kg/semana)}$$

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = \frac{0.0185 \mu g/g * 1.6 \mu g/kg/semana}{0.071 \mu g/kg/semana}$$

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = 0.4169 \mu g/g$$

Concentración permisible para consumo de Atún Medalla de Oro, según las encuestas realizadas y datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = \frac{[MeHg^+] \mu g/g * 1.6 \mu g/kg/semana}{IsMeHg^+ \text{ en el \acute{a}rea de estudio } (\mu g/kg/semana)}$$

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = \frac{0.0911 \mu g/g * 1.6 \mu g/kg/semana}{0.3518 \mu g/kg/semana}$$

$$[MeHg^+] \text{ permisible} = 0.4143 \mu g/g$$

**Cantidad máxima de pescado que puede ser consumida semanalmente.**

Cantidad máxima de Bocachico venezolano (*Prochilodus reticulatus*) que puede ser consumido, según los datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$CPSP = \frac{1.6 \mu g/kg/semana * CPS(g de pescado semanal)}{IsMeHg^+ en el \acute{a}rea de estudio (\mu g/kg/semana)}$$

$$CPSP = \frac{1.6 \mu g/kg/semana * 285.36g}{0.3070 \mu g/kg/semana}$$

$$CPSP = 1487.2182 g$$

Cantidad máxima de Bocachico argentino (*Prochilodus lineatus*) que puede ser consumido, según los datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$CPSP = \frac{1.6 \mu g/kg/semana * CPS(g de pescado semanal)}{IsMeHg^+ en el \acute{a}rea de estudio (\mu g/kg/semana)}$$

$$CPSP = \frac{1.6 \mu g/kg/semana * 285.36g}{0.178 \mu g/kg/semana}$$

$$CPSP = 2565.0337 g$$

Cantidad máxima de Basa (*Pangasius hypophthalmus*) que puede ser consumido, según los datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$CPSP = \frac{1.6 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana} * CPS(\text{g de pescado semanal})}{IsMeHg^+ \text{ en el \acute{a}rea de estudio } (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana})}$$

$$CPSP = \frac{1.6 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana} * 285.36\text{g}}{0.071 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}}$$

$$CPSP = 6430.65 \text{ g}$$

Cantidad máxima de Sardina Van Premium Camp's que puede ser consumida, según los datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$CPSP = \frac{1.6 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana} * CPS(\text{g de pescado semanal})}{IsMeHg^+ \text{ en el \acute{a}rea de estudio } (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana})}$$

$$CPSP = \frac{1.6 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana} * 285.36\text{g}}{0.1463 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}}$$

$$CPSP = 3120.82 \text{ g}$$

Cantidad máxima de Atún Medalla de Oro que puede ser consumido, según los datos arrojados por el análisis de concentración de mercurio.

$$CPSP = \frac{1.6 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana} * CPS(\text{g de pescado semanal})}{IsMeHg^+ \text{ en el \acute{a}rea de estudio } (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana})}$$

$$CPSP = \frac{1.6 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana} * 285.36\text{g}}{0.3518 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}}$$

$$CPSP = 1297.8283 \text{ g}$$

#### Anexo 4. Registro Fotográfico.

**Ilustración 2.** Muestra de Bocachico Argentino (*Prochilodus lineatus*).



**Fuente:** Propia.

**Ilustración 3.** Muestra de Bocachico Argentino (*Prochilodus lineatus*).



**Fuente:** Propia.

**Ilustración 4.** Muestra de Bocachico Venezolano (*Prochilodus reticulatus*).



**Fuente:** Propia

**Ilustración 5.** Muestra de Bocachico Venezolano (*Prochilodus reticulatus*).



**Fuente:** Propia

**Ilustración 6.** Muestra de Basa (*Pangasius hypophthalmus*)



**Fuente:** Propia

**Ilustración 7.** Muestra de Sardina Van Premium Camp's



**Fuente:** Propia

**Ilustración 8.** Muestra de Atún Medalla de Oro.



**Fuente:** Propia

**Ilustración 9.** Extracción de muestras de tejido muscular de las especies ícticas de estudio para análisis de concentración de mercurio.



**Fuente:** Propia

**Anexo 5. Formato de encuesta.**

**ENCUESTAS SOBRE EL CONSUMO DE PESCADO IMPORTADO EN  
HABITANTES DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA**

Día \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Año 2015

Sexo M ( ) F ( ) Estatura \_\_\_\_\_ Peso \_\_\_\_\_ Edad \_\_\_\_\_  
Hijos \_\_\_\_\_

Ocupación \_\_\_\_\_ Estado de gravidez: Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ Tiempo  
\_\_\_\_\_

Grado de escolaridad: Ninguna \_\_\_ Primaria \_\_\_ Secundaria \_\_\_ Técnico \_\_\_  
Universitario \_\_\_\_\_

**HÁBITOS ALIMENTICIOS**

Nº días a la semana que consume pescado: 1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ 6  
\_\_\_\_\_ 7 \_\_\_\_\_

Nº de comidas con pescado al día: 1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_

Que especie de pescado consume con mayor frecuencia: Bocachico Argentino (1) \_\_\_\_\_,  
Basa (2) \_\_\_\_\_, Bocachico Venezolano (3) \_\_\_\_\_, Otros (4) \_\_\_\_\_

¿De qué forma consume el pescado? Frito (1) \_\_\_\_\_ Cocido (2) \_\_\_\_\_ Ahumado (3)  
\_\_\_\_\_ Otras (4) \_\_\_\_\_

Cantidad de pescado por día (g): \_\_\_\_\_

Cantidad de pescado por semana (g): \_\_\_\_\_

Dónde compra/adquiere el pescado que  
consume \_\_\_\_\_

Qué tipo de enlatado consume con mayor frecuencia: Sardina Van Premium Camp's (1)  
\_\_\_\_\_, Atún Medalla de Oro (2) \_\_\_\_\_ Otros (3) \_\_\_\_\_

Nº días a la semana que consume Sardina (enlatada): 1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ 5  
\_\_\_\_\_ 6 \_\_\_\_\_ 7 \_\_\_\_\_

Nº de comidas con Sardina (enlatada) al día: 1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_

¿De qué forma consume el enlatado? Crudo (1) \_\_\_\_\_ Cocido (2) \_\_\_\_\_ Guiso (3)  
\_\_\_\_\_ Otras (4) \_\_\_\_\_

**Anexo 6. Análisis estadístico (Microsoft Excel).**

**Tabla 9.** Análisis estadístico del pescado objeto de estudio en general.

Datos estadísticos	peso (kg)	N° de días a la semana que consume pescado	N° de comidas con pescado al día	Cantidad de pescado por día (g)	Cantidad de pescado por semana (g)
<b>Media</b>	65.27477477	1.621621622	1.144144144	251.5315315	316.8468468
<b>Error típico</b>	1.328416488	0.111613917	0.035851287	9.298224182	27.54669388
<b>Mediana</b>	60	1	1	220	220
<b>Moda</b>	60	1	1	200	200
<b>Desviación estándar</b>	13.99573616	1.175925586	0.377716749	97.9628705	290.2224287
<b>Varianza de la muestra</b>	195.8806306	1.382800983	0.142669943	9596.723997	84229.05815
<b>Curtosis</b>	-0.25370634	10.22186141	6.074026396	8.606385033	19.09388737
<b>Coficiente de asimetría</b>	0.748215088	2.930208583	2.556466007	2.736975516	3.913189193
<b>Rango</b>	61	6	2	600	2100
<b>Mínimo</b>	40	1	1	150	150
<b>Máximo</b>	101	7	3	750	2250
<b>Suma</b>	7245.5	180	127	27920	35170
<b>Cuenta</b>	111	111	111	111	111
<b>Nivel de confianza (95,0%)</b>	2.632609676	0.221192586	0.071048836	18.42689787	54.59108157

**Fuente:** Autores.

**Tabla 10.** Análisis estadístico del pescado enlatado objeto de estudio en general.

<b>Datos estadísticos</b>	<b>peso (kg)</b>	<b>N° de días a la semana con pescado enlatado</b>	<b>N° de comidas al día con enlatados</b>
<b>Media</b>	67.53664921	1.586387435	1.146596859
<b>Error típico</b>	1.081702875	0.076490356	0.029646251
<b>Mediana</b>	64	1	1
<b>Moda</b>	60	1	1
<b>Desviación estándar</b>	14.94943116	1.057117748	0.409719339
<b>Varianza de la muestra</b>	223.4854919	1.117497933	0.167869937
<b>Curtosis</b>	-0.247000357	10.14844618	8.109956272
<b>Coefficiente de asimetría</b>	0.584880303	2.809411063	2.889970878
<b>Rango</b>	80	6	2
<b>Mínimo</b>	40	1	1
<b>Máximo</b>	120	7	3
<b>Suma</b>	12899.5	303	219
<b>Cuenta</b>	191	191	191
<b>Nivel de confianza (95,0%)</b>	2.133689405	0.150879382	0.058478065

**Fuente:** Autores

**Tabla 11.** Análisis estadístico del Bocachico Argentino (*Prochilodus lineatus*).

Datos estadísticos	peso (kg)	N° de días a la semana que consume pescado	N° de comidas con pescado al día	Cantidad de pescado por día (g)	Cantidad de pescado por semana (g)
Media	64.55813953	1.651162791	1.11627907	257.2093023	307.6744186
Error típico	2.194148648	0.166002178	0.04946337	13.01811321	34.44680237
Mediana	60	1	1	250	250
Moda	54	1	1	250	250
Desviación estándar	14.38799487	1.088549076	0.324353006	85.36547706	225.8827889
Varianza de la muestra	207.0143965	1.184939092	0.105204873	7287.264673	51023.03433
Curtosis	0.009933203	13.20137988	4.358510911	6.844076395	7.839870788
Coefficiente de asimetría	1.009932114	3.076349763	2.481487865	2.434286033	2.915224466
Rango	51	6	1	450	1050
Mínimo	47	1	1	150	150
Máximo	98	7	2	600	1200
Suma	2776	71	48	11060	13230
Cuenta	43	43	43	43	43
Nivel de confianza (95,0%)	4.42797124	0.335005958	0.099821121	26.27161607	69.51646159

Fuente: Autores

**Tabla 12.** Análisis estadístico de la Basa (*Pangasius hypophthalmus*).

Datos estadísticos	peso (kg)	N° de días a la semana que consume pescado	N° de comidas con pescado al día	Cantidad de pescado por día (g)	Cantidad de pescado por semana (g)
Media	65.79761905	1.333333333	1.119047619	213.0952381	249.2857143
Error típico	2.107110048	0.116405049	0.050576019	7.988726779	23.1627902
Mediana	63.25	1	1	200	200
Moda	68	1	1	200	200
Desviación estándar	13.65563384	0.75439094	0.327770068	51.77286676	150.1120371
Varianza de la muestra	186.4763357	0.569105691	0.107433217	2680.429733	22533.62369
Curtosis	-0.13750321	6.396	4.152848233	6.111975944	8.177197855
Coefficiente de asimetría	0.621568877	2.571610946	2.440735379	2.537709009	3.013211996
Rango	61	3	1	230	610
Mínimo	40	1	1	150	150
Máximo	101	4	2	380	760
Suma	2763.5	56	47	8950	10470
Cuenta	42	42	42	42	42
Nivel de confianza (95,0%)	4.255395071	0.235084766	0.102140343	16.13356103	46.7782038

Fuente: Autores

**Tabla 13.** Análisis estadístico del Bocachico Venezolano (*Prochilodus reticulatus*).

Datos estadísticos	peso (kg)	N° de días a la semana que consume pescado	N° de comidas con pescado al día	Cantidad de pescado por día (g)	Cantidad de pescado por semana (g)
Media	66.04	1.84	1.24	306.4	448.8
Error típico	2.901999311	0.274954542	0.104562581	28.89567442	96.29177881
Mediana	62	1	1	250	250
Moda	60	1	1	200	200
Desviación estándar	14.50999655	1.374772708	0.522812905	144.4783721	481.4588941
Varianza de la muestra	210.54	1.89	0.273333333	20874	231802.6667
Curtosis	-0.411668308	7.719543192	4.462688076	3.071126302	7.739046345
Coefficiente de asimetría	0.526065045	2.507807316	2.196698559	1.904026488	2.673945824
Rango	53	6	2	560	2060
Mínimo	42	1	1	190	190
Máximo	95	7	3	750	2250
Suma	1651	46	31	7660	11220
Cuenta	25	25	25	25	25
Nivel de confianza (95,0%)	5.989432203	0.567478283	0.21580656	59.63774087	198.7364638

Fuente: Autores

**Tabla 14.** Análisis estadístico de la Sardina Van Premium Camp's.

<b>Datos Estadísticos</b>	<b>peso (kg)</b>	<b>N° de días a la semana con pescado enlatado</b>	<b>N° de comidas al día con enlatados</b>
<b>Media</b>	68.04666667	1.466666667	1.093333333
<b>Error típico</b>	1.856524248	0.115989023	0.0387802
<b>Mediana</b>	62.5	1	1
<b>Moda</b>	54	1	1
<b>Desviación estándar</b>	16.07797161	1.004494405	0.335846383
<b>Varianza de la muestra</b>	258.5011712	1.009009009	0.112792793
<b>Curtosis</b>	0.161730971	13.21945765	15.99641458
<b>Coefficiente de asimetría</b>	0.803735458	3.216950724	3.885712261
<b>Rango</b>	78	6	2
<b>Mínimo</b>	42	1	1
<b>Máximo</b>	120	7	3
<b>Suma</b>	5103.5	110	82
<b>Cuenta</b>	75	75	75
<b>Nivel de confianza (95,0%)</b>	3.699205313	0.231113173	0.077271235

Fuente: Autores

**Tabla 15.** Análisis estadístico del Atún Medalla de Oro.

<b>Datos Específicos</b>	<b>peso (kg)</b>	<b>N° de días a la semana con pescado enlatado</b>	<b>N° de comidas al día con enlatados</b>
<b>Media</b>	67.20689655	1.663793103	1.181034483
<b>Error típico</b>	1.321629386	0.1009282	0.041701333
<b>Mediana</b>	64	1	1
<b>Moda</b>	60	1	1
<b>Desviación estándar</b>	14.23438412	1.087029983	0.449137104
<b>Varianza de la muestra</b>	202.6176912	1.181634183	0.201724138
<b>Curtosis</b>	-0.761758159	9.258181371	5.856742368
<b>Coficiente de asimetría</b>	0.36986517	2.648443064	2.511111885
<b>Rango</b>	62	6	2
<b>Mínimo</b>	40	1	1
<b>Máximo</b>	102	7	3
<b>Suma</b>	7796	193	137
<b>Cuenta</b>	116	116	116
<b>Nivel de confianza (95,0%)</b>	2.617893454	0.19991934	0.082602315

Fuente: Autores

**Tabla 16.** Análisis estadístico de las veces a la semana que se consume pescado.

Datos específicos	peso (kg)	N° de días a la semana que consume pescado	N° de comidas con pescado al día	Cantidad de pescado por día (g)	Cantidad de pescado por semana (g)
Media	66.508	1	1.08	245.36	285.36
Error típico	1.292184747	0	0.029182407	6.898848899	21.65910194
Mediana	64	1	1	230	230
Moda	60	1	1	200	200
Desviación estándar	14.44706466	0	0.326269234	77.13147552	242.1561213
Varianza de la muestra	208.7176774	0	0.106451613	5949.264516	58639.5871
Curtosis	-0.414413232	-	20.44157544	7.767250847	24.86501449
Coefficiente de asimetría	0.62852771	-	4.428665124	2.495141928	4.729343181
Rango	62	0	2	450	1650
Mínimo	40	1	1	150	150
Máximo	102	1	3	600	1800
Suma	8313.5	125	135	30670	35670
Cuenta	125	125	125	125	125
Nivel de confianza (95,0%)	2.557595576	0	0.057760159	13.65475445	42.86942981

Fuente: Autores

**Tabla 17.** Análisis estadístico del número de comidas al día

Datos estadísticos	peso (kg)	N° de días a la semana que consume pescado	N° de comidas con pescado al día	Cantidad de pescado por día (g)	Cantidad de pescado por semana (g)
Media	67.83064516	1.677419355	1	232.0430108	232.0430108
Error típico	1.12076534	0.096531712	0	3.407018995	3.407018995
Mediana	64.5	1	1	220	220
Moda	60	1	1	200	200
Desviación estándar	15.28520134	1.316517029	0	46.4655441	46.4655441
Varianza de la muestra	233.6373801	1.733217088	0	2159.046789	2159.046789
Curtosis	-0.396266181	9.156317295	-	3.658201172	3.658201172
Coefficiente de asimetría	0.591805543	2.956316776	-	1.47682571	1.47682571
Rango	80	6	0	300	300
Mínimo	40	1	1	150	150
Máximo	120	7	1	450	450
Suma	12616.5	312	186	43160	43160
Cuenta	186	186	186	186	186
Nivel de confianza (95,0%)	2.211124256	0.190444514	0	6.721605382	6.721605382

Fuente: Autores

 UNIVERSIDAD DE LA COSTA	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSION: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE- NETGUDI

**ANEXO 1**  
**CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA  
 CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN  
 ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO**

Barranquilla, Fecha Mayo 26 de 2016

Marque con una X

Tesis  Trabajo de Grado

Yo Kenil Livia Maxilla Salazar, identificado con C.C. No. 1143448941, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado Análisis de las concentraciones de mercurio en peces importados en la Ciudad de Barranquilla y riesgo potencial para la Salud Humana presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de Ingeniería Ambiental;

hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los 26 días del mes de Mayo de Dos Mil Dieciséis 20 16.

EL AUTOR - ESTUDIANTE. Kenil Maxilla Salazar  
 FIRMA

	<b>NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION</b>	VERSION: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO:DOC-VACRE-NETGUDI

**ANEXO 1**  
**CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO**

Barranquilla, Fecha Mayo 26 2016

Marque con una X

Tesis  Trabajo de Grado

Yo Eva Mercedes Altalona Carmona, identificado con C.C. No. 1140870707, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado Análisis de las concentraciones de Mercurio en Peas importadas en la ciudad de Barranquilla y riesgo potencial para la salud humana presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental;

hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

El AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los 26 días del mes de Mayo de Dos Mil dieciseis 2016.

EL AUTOR - ESTUDIANTE.

Eva Mercedes Altalona P

FIRMA

	<b>NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION</b>	VERSION: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE-NETGUDI

**ANEXO 2  
FORMULARIO DE LA DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO**

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS O TRABAJO DE GRADO:

*Análisis de las concentraciones de Mercurio en peces importados en la ciudad de Barranquilla y Riesgo Potencial para la salud humana*

SUBTÍTULO, SI LO TIENE:

---



---

**AUTOR AUTORES**

Apellidos Completos	Nombres Completos
<i>Altahona Carmona</i>	<i>Eva Mercedes</i>
<i>Movilla Salazar</i>	<i>Keiry Jaura</i>

**DIRECTOR (ES)**

Apellidos Completos	Nombres Completos
<i>Fuentes Gandara</i>	<i>fabio Armando</i>

**JURADO (S)**

Apellidos Completos	Nombres Completos
<i>Cantero Rodelo</i>	<i>Rubén</i>
<i>Gomez Plata</i>	<i>Leandro</i>

**ASESOR (ES) O CODIRECTOR**

Apellidos Completos	Nombres Completos

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: *Ingeniera Ambiental*

FACULTAD: *Ciencias Ambientales*

PROGRAMA: Pregrado  Especialización

NOMBRE DEL PROGRAMA *Ingeniería Ambiental*



	<b>LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y PERMITIR CONSULTA Y USO</b>	VERSION: 01
		FECHA: OCTUBRE 2015
		CODIGO: DOC-VACRE-FLAPCU

### LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y PERMITIR CONSULTA Y USO

Barranquilla, Fecha: Mayo 26 2016

#### Parte 1. Términos de la Licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

- i. La vigencia es a partir de la fecha en que se incluye en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad con una antelación de dos meses antes de la correspondiente prórroga.
- ii. El Autor / Los autores:
  - Autorizan a la corporación Universidad de la Costa - CUC para publicar la obra en el formato que el repositorio lo requiera (impreso, digital, electrónico o cualquier otro conocido o por conocer) y conocen que dado que se publica en Internet por este hecho circula con un alcance mundial.
  - Aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto renuncian a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente Licencia y de la Licencia Creative Commons con que se publica.
  - Manifiestan que se trata de una obra original y la realizó o realizaron sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, obra sobre la que tiene (n) los derechos que autoriza (n) y que es él o ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante la CORPORACION UNIVERSIDAD DE LA CUC y ante terceros. En todo caso la CORPORACION UNIVERSIDAD DE LA COSTA se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del AUTOR o AUTORES y la fecha de publicación. Para todos los efectos la CORPORACION UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC, actúa como un tercero de buena fé.
  - Autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
  - Aceptan que la Corporación Universidad de la Costa pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

*SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DE LA COPRRPORACION UNIVERSIDAD DELA COSTA - CUC, LOS AUTORES GARANTIZAN QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.*

#### Parte 2. Autorización para publicar y permitir la consulta y uso de obras en el Repositorio Institucional de la Corporación Universidad de la Costa - CUC

Con base en este documento, Usted autoriza la publicación electrónica, consulta y uso de su obra por la Corporación Universidad de la Costa - CUC y sus usuarios de la siguiente manera, Usted:

- Otorga una (1) licencia especial para publicación de obras en el repositorio institucional de la CORPORACIÓN UNIVERSIDAD De La COSTA - CUC (Parte 1) que

	LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS	VERSION: 01
	AUTORES PARA PUBLICAR Y PERMITIR	FECHA: OCTUBRE 2015
	CONSULTA Y USO	CODIGO:DOC-VACRE-FLAPCU

forma parte integral del presente documento y de la que ha recibido una (1) copia.  
Si autorizo  No autorizo .

- Autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados por Usted, con la Licencia Creative Commons Reconocimiento - No comercial - Sin obras derivadas 2.5 Colombia cuyo texto completo se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/> y que admite conocer.

Si autorizo  No autorizo . Si Usted no autoriza para que la obra sea licenciada en los términos expuestos y opta por una opción legal diferente descríbala: \_\_\_\_\_

#### EN CONSTANCIA DE LO ANTERIOR:

##### Tipo de documento:

Artículo \_\_\_ Libro \_\_\_ Capítulo de Libro \_\_\_ Informe / avance de Investigación \_\_\_ Tesis   
Ponencia / Conferencia \_\_\_ Video \_\_\_ Objeto de Aprendizaje \_\_\_ Otro \_\_\_

##### Título de la obra(s):

Análisis de las concentraciones de Mercurio en peces importados  
en la ciudad de Barranquilla y Riesgo Potencial para la Salud  
humana

##### Autor (es):

<u>Eva Mercedes Atalaya Carmona</u>	<u>Eva Atalaya</u>	<u>1140870707</u>
Nombre	Firma	C.C.
<u>Keiry Laura Novilla Salazar</u>	<u>Keiry Novilla</u>	<u>1143448941</u>
Nombre	Firma	C.C.
_____	_____	_____
Nombre	Firma	C.C.

##### Datos contacto: (teléfono, correo Dirección)

375 1260, Keiry0208@hotmail.com

Fecha entrega (D/M/A): \_\_\_\_\_